



DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET
MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:

Konstruksjoner og materialer –
Byggkonstruksjoner

Vårsemesteret, 2022

Åpen / ~~Konfidensiell~~

Forfatter:

Marcus Bautz

..... *MBautz*

Fagansvarlig:

Kjell Tore Fosså

Veileder:

Jarle Berge

Tittel på masteroppgaven:

Miljøvennlige betongoppskrifter til glidestøperasjoner

Engelsk tittel:

Environmentally friendly concrete recipes for slipforming operations

Studiepoeng:

30

Emneord:

- Glidestøp
- Miljøvennlige alternativer
- Friksjon
- Poretrykk
- Statisk løftekraft

Sidetall: 48

+ vedlegg: 6

Stavanger, 14.06.2022

Forord

Denne oppgaven ble utført våren 2022 ved Universitetet i Stavanger som et avsluttende arbeid for 2-årig mastergradsstudium i konstruksjoner og materialer, med retning byggkonstruksjoner.

Jeg ønsker å takke min hovedveileder Kjell Tore Fosså fra Universitet i Stavanger for god veiledning og nyttig innspill gjennom prosessen. Jeg vil takke Jarle Berge og Samdar Kakay for viktig hjelp og veiledning i laboratoriet og deres interesse for oppgavens problemstilling.

En takk til Hans Roar Bautz og Sindre Mo Jakobsen for gjennomlesning av rapporten. Til slutt vil jeg takke familie og venner for støtten og oppmuntringen under disse to årene.

14. jun. 2020, Stavanger
Marcus Bautz

Sammendrag

Glidestøp er en konstruksjonsmetode som har vært i bruk i flere tiår for produksjonen av betongkonstruksjoner. Den har mange bruksområder, der høye vertikale konstruksjoner slik som tårn, sjakter og offshore plattformer typisk er produsert etter glidestøpmetoden. Det er en døgnkontinuerlig prosess, som i motsetning til andre konstruksjonsmetoder er relativt komplisert. Tilgang til materialer, personell og ekspertise er derfor viktig for at glidestøp skal fungere optimalt.

En potensiell fare med glidestøp er friksjonen som oppstår mellom betongen og glidepanelet. Dette kan videre danne alvorlige skader på betongoverflaten, deriblant riss. Av den grunn er glidestøp en konstruksjonsmetode med mye skepsis i byggebransjen, som videre har ført til diskusjoner omhandlende bruken av glidestøp og om det er en pålitelig konstruksjonsmetode.

Selv om betong er et av verdens mest brukte materialer, har den og en negativ innvirkning på klima. Betongens hovedmateriale består av sement, som er et produkt av brent kalkstein. Denne prosessen er svært miljøskadelig og bidrar til 7-8% av verdens totale klimagassutslipp. Oppgaven søker derfor å besvare problemstillingen: «Hvilke miljøvennlige betongoppskrifter egner seg til glidestøpoperasjoner?». For å begrense oppgavens omfang er det valgt å se bort ifra den økonomiske konsekvensen miljøvennlige betongoppskrifter kan gi av forsinkelser i en glidestøpoperasjon.

For å besvare oppgavens problemstilling best mulig er prosjektet delt i to deler. Den første delen presenterer eksisterende litteratur og hvordan betong kan gjøres mer miljøvennlig. Den andre delen besvares ved å gjøre omfattende laboratorietester av ulike miljøvennlige betongoppskrifter i en gliderigg.

Oppgaven har gjort følgende funn. Alle, unntatt betong med høy mengde flygeaske, oppnår gode resultater av trykkfasthet. Målinger tilknyttet porevanntrykket korresponderer med en forventet utvikling som avhenger av betongens delmaterialer og hvilken mengde tilsetningsmaterialer som er benyttet. Glidepanelets løftekraft skiller seg mellom de ulike blandingene og det fremkommer lavere løftekraft for betongene med større mengde tilsetningsmateriale. Ulike mengder resulterer videre i forskjellig temperaturutvikling og det fremkommer lav temperaturøkning på de betongene med en høy andel slagg og flygeaske.

Denne studien gir et robust svar på problemstillingen, og funnene kan være viktig for å etablere et høyere fokus på miljøvennligere betong som bidrar med å optimalisere miljøperspektivet i fremtidige byggeprosjekter. Likevel er det avgjørende å fortsette forskningen, for å styrke funnene i denne oppgaven og utforske om tiltak må gjøres før den miljøvennligere betongen kan tas i bruk.

Abstract

Slipforming is a construction method that has been in used for decades for production of concrete structures. It has a range of application, where tall vertical structures such as towers, shafts and offshore platforms are often produced by slipforming. It is a 24-hour process, which in contrast to other construction methods is relatively complicated. Access to materials, personnel and expertise is therefore important for slipforming to work optimally.

A potential hazard with slipforming is the friction that occur between the concrete and the slipform. This can result in serious damages to the surface, such as cracks. For this reason, slipforming is a construction method with a lot of skepticism, which has further led to discussions in the construction industry regarding the use of slipforming and whether it is a reliable construction method.

Although concrete is one of the world's most widely used materials, it also has a negative impact on the climate. The main material of the concrete consists of cement, which is a product of burnt limestone. This process is very harmful to the environment and contributes to 7-8% of the world's total greenhouse gas emissions. The thesis therefore seeks to answer the following: "Which environmentally friendly concrete recipes are suitable for slipforming operation?". In order to limit the scope of the task, it has been chosen to disregard the financial consequence of potential delays made from the environmentally friendly concrete recipes.

In order to answer the problem of the thesis in the best possible way, the project is divided into two parts. The first part presents existing literature and how concrete can be made more environmentally friendly. The second part goes more in depth and is answered by doing extensive laboratory tests of various environmentally friendly concrete recipes in a slipform rig.

The thesis has made the following findings. All, except the one with a high proportion of fly ash, achieve good results of compressive strength. Measurement associated with pore water pressure correspond to an expected development that depends on the concrete's sub-materials and the amount of additive materials used. The lifting force of the sliding panel differs between the different mixtures and there is a lower lifting force for the concrete with a larger amount of additive material than for those with smaller amount. Different amounts further results in different temperature development and there is a low temperature increase on the concrete with a high proportion of slag and fly ash.

This study provides a robust answer to the problem, and the findings may be important for establishing a higher focus on more environmentally friendly concrete that helps to optimize the environmental perspective in future construction projects. Nevertheless, it is crucial to continue the research, in order to strengthen the findings in this thesis and explore whether measures must be taken before the more environmentally friendly concrete may be used.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	ii
Sammendrag.....	iii
Abstract.....	iv
Innholdsfortegnelse	v
Figurliste.....	vii
Tabelliste.....	vii
Formelliste	viii
1 Innledning.....	1
1.1 Formål og problemstilling	1
1.2 Avgrensninger	1
2 Teori	3
2.1 Betong.....	3
2.1.1 Betongens delmaterialer.....	3
2.1.2 K-verdi.....	6
2.1.3 Betongens varmeutvikling.....	7
2.1.4 Temperaturpåvirkning	8
2.2 Miljøvennlig betong	9
2.2.1 Tilsetningsmaterialer	9
2.2.2 Geopolymer	9
2.3 Porevanntrykk.....	10
2.3.1 Generelt.....	10
2.3.2 Hydratiseringens effekt	11
2.3.3 Gjennombruddtrykk	12
2.4 Glidestøp.....	12
2.4.1 Fordeler og ulemper	13
2.4.2 Glideformen.....	13
2.4.3 Glidehastighet.....	14
2.4.4 Friksjon	15
2.4.5 Betongens trykk mot panelet.....	15
2.4.6 Effektivtrykk.....	15
3 Prøveprogram og laboratoriearbeid.....	17
3.1 Prøveprogram	17
3.2 Gjennomgang av LAB-forsøk	18
3.3 Betongegenskaper	18

3.4 Glideriggen	18
3.4.1 Glidepanel	19
3.4.2 Normalkraftsensor	20
3.4.3 Porevanntrykksmåler	20
3.4.4 Temperaturmåler	20
3.4.5 Programvare.....	21
3.4.6 Figurforklarelse	21
4 Resultater.....	22
4.1 Betongegenskaper	22
4.1.1 Fersk fase	22
4.1.2 Herdet fase	22
4.2 Gliderigg	23
4.2.1 Porevanntrykk	23
4.2.2 Glidepanelets løftekraft og normalkraft.....	23
4.2.3 Effektivtrykk.....	29
4.2.4 Temperatur	29
4.2.5 Betongoverflaten.....	31
5 Diskusjon.....	32
5.1 Betongegenskaper	32
5.1.1 Synkutbredelsesmål.....	32
5.1.2 Luftinnhold	32
5.1.3 Densitet	32
5.1.4 Trykkfasthet.....	32
5.1.5 E-modul	33
5.1.6 Spaltestrekkfasthet.....	33
5.2 Gliderigg	34
5.2.1 Poretrykk.....	34
5.2.2 Løftekraft og normalkraft.....	35
5.2.3 Effektivtrykk.....	36
5.2.4 Temperatur	36
5.2.5 Betongoverflaten.....	37
6 Konklusjon	38
7 Forslag til videre arbeid.....	39
8 Referanseliste.....	40
Vedlegg.....	42
Vedlegg A. Prøveprogram.....	42

Vedlegg B. Sikteanalyser	52
Vedlegg C. Trykkfasthet	54
Vedlegg D. E-modul.....	57
Vedlegg E. Spaltestrekkfasthet	59
Vedlegg F. Porevanntrykk for hver prøveblanding	61

Figurliste

Figur 2.1-1. Varmeutvikling.....	7
Figur 2.1-2. Relativ reaksjonshastighet ved ulike betongtemperaturer.	8
Figur 2.3-1. Dannelsen av porevanntrykk.	11
Figur 2.3-2. De ulike typene trykkendring før og etter gjennombruddtrykk.	12
Figur 2.4-1. Glideform.....	14
Figur 3.4-1. Glideriggen ved UiS.....	19
Figur 3.4-2. Glidepanelets motorsensor.....	19
Figur 3.4-3. Normalkraftsensor.....	20
Figur 3.4-4. Porevanntrykk måler.	20
Figur 3.4-5. Forklarelse av løftekraft figur.	21
Figur 4.2-1. Porevanntrykk.	23
Figur 4.2-2. Løftekraft for Ref.Bet.	24
Figur 4.2-3. Løftekraft for Ref.Bet.6SF.....	24
Figur 4.2-4. Løftekraft for 50FA.	25
Figur 4.2-5. Løftekraft for 70BS.	25
Figur 4.2-6. Løftekraft for 70BS.5SF.....	26
Figur 4.2-7. Løftekraft for 35FA.	26
Figur 4.2-8. Løftekraft for Ref.Bet.25°C.	27
Figur 4.2-9. Løftekraft for 50FA.25°C.....	27
Figur 4.2-10. Løftekraft for 70BS.25°C.....	28
Figur 4.2-11. Maks statisk løftekraft.	28
Figur 4.2-12. Effektivtrykk plottet mot løftekraft.....	29
Figur 4.2-13. Temperaturutvikling.....	30
Figur 4.2-14. Temperaturøkning.....	30
Figur 4.2-15. Betongoverflaten for 70BS.5SF.....	31
Figur 5.2-1. Porevanntrykk rett før gjennombruddtrykk.	35

Tabelliste

Tabell 4.1-1. Betongegenskaper i fersk fase.	22
Tabell 4.1-2. Mekaniske egenskaper.	22
Tabell 5.1-1. Trykkfasthetsklasse.	32
Tabell 5.2-1. Løftekraftens stigningsrate.	35
Tabell 5.2-2. Tidspunkt og posisjon for avbinding.....	36

Formelliste

Ligning 1. K-verdi	6
Ligning 2. Glidehastighet.....	14
Ligning 3. Friksjonsligning.....	15
Ligning 4. Effektivtrykk	16
Ligning 5. Forenklet effektivtrykk.....	16

1 Innledning

Betong er et av verdens mest brukte materialer. Det finnes mange ulike konstruksjonsmetoder for betong, der glidestøp er en av disse [1, s. 307]. Glidestøp er en teknikk som har vært i bruk i flere tiår for produksjon av et bredt spekter av ulike konstruksjoner. Typiske prosjekter for vertikale glidestøp er tårn, sjakter og offshore plattformer. Glidestøp er ikke avhengig av en konstant tykkelse eller geometri, det er derfor mulig å gjøre endringer i disse parameterne etter hvert som støpen foregår [2, s. 1].

Glidestøp er en døgkontinuerlig prosess. Den fungerer ved å løfte forskalingen med jevne mellomrom etter hvert som betongen herder. Av den grunn er konstruksjonsmetoden avhengig av god planlegging av både materialtilførsel og personell [2, s. 1]. Det er en effektiv metode, med mange markante fordeler, men en av de store svakhetene er friksjonen som dannes mellom betongoverflaten og glideforskalingen. Denne friksjonen kan videre danne overflateskader, slik som løfteriss [1, s. 364], og er en av grunnene til hvorfor glideforskaling ikke er anbefalt for noen betongkonstruksjoner [3].

En glideforskaling inneholder et rammeverk av horisontale formsider, på normalt 1-1,2 m høyde. Disse er holdt sammen av vertikale åk-konstruksjoner i stål. Ved glideformens overkant monteres arbeidsplattformer. Under plattformen monteres hengende stillas. Glideformen løftes opp i trinn med tidsintervaller tilpasset betongens avbinding og blir løftet av hydrauliske jekker som er koblet til klatrestål som er innstøpt i betongen [4, s. 6].

Betong består blant annet av sement. Sement er et produkt av brent kalkstein og er en stor kilde til verdens klimagassutslipp [1, s. 44]. Da betong er såpass utbredt er det derfor ønskelig å finne alternative måter å gjøre betongen mer miljøvennlig. Bruken av tilsetningsmaterialer er en måte å gjøre dette på. Produksjonen av disse er mindre miljøskadelig og kan erstatte deler av sementinnholdet i betongen, noe som videre fører til en reduksjon i produksjonen av sementklinker.

1.1 Formål og problemstilling

Opgavens formål er todelt. For det første skal den fungere som et supplement til informasjon omhandlende glidestøp, og med dette gjøre glidestøp som konstruksjonsmetode mer akseptert. For det andre skal oppgaven bidra til å velge mer miljøvennlige betongoppskrifter for glidestøp, og dermed optimalisere fokuset på en mer miljøvennlig bransje.

For å oppnå disse målene vil oppgaven samle informasjon fra eksisterende litteratur og presentere ulike måter å gjøre betong mer miljøvennlig. Basert på dette er følgende problemstilling formulert.

- Hvilke miljøvennlige betongoppskrifter egner seg til glidestøpoperasjoner?

1.2 Avgrensninger

For å begrense oppgavens omfang er det gjort følgende avgrensninger. Økonomien knyttet opp mot glidestøp, og om de ulike betongoppskriftene egentlig passer overens med budsjett, er ekskludert. Det blir vanskelig å avgjøre kostnaden på betongens delmaterialer

og de økonomiske konsekvensene av betongens forlenget avbindingstidspunkt som følge av ulike tilsetningsmaterialer.

En annen avgrensning er det faktum at betongen kun støpes ut i et lag. Det vil si at laboratorieforsøkene ikke blir tilført flere lag etter hvert som glidepanelet heves. Ved tilførsel av betong er det fare for at sensorene registrerer verdier som ikke stemmer.

Oppgaven er også avgrenset til tilgjengelige delmaterialer. Det var opprinnelig planlagt å kjøre en resept med slagg som tilsetningsmateriale, i tillegg til å kjøre en resept med geopolymer som erstatning for sementklinker. Disse materialene var vanskelig å få tak i og ble derfor ekskludert fra oppgaven.

En siste avgrensning er oppgavens fokus på vertikale glidestøp. Vertikale glidestøp er den mest dekkede konstruksjonsmetoden ved tidligere forskning. Videre er laboratoriet til Universitet i Stavanger kun utstyrt med en vertikal gliderigg.

2 Teori

For å sikre tilstrekkelig bakgrunnsinformasjon for å forstå prosjektets metode og resultater, beskrives først betong som materiale og hva den består av (2.1). Videre presenteres tiltak for å gjøre betongen mer miljøvennlig (2.2), for så å oppsummere viktig informasjon i tilknytning til betongens porevanntrykk (2.3). Til slutt omhandler teorkapittelet informasjon i tilknytning til glidestøp som konstruksjonsmetode (2.4).

2.1 Betong

Betong består av sement, vann og tilslag. I tillegg kan det tilsettes ulike tilsetningsmaterialer. De som er brukt i denne oppgaven er videre presentert i underkapittel 2.1.1.

Betong er et av verdens mest brukte materialer. Dette fordi betongens egenskaper gjør den ekstremt sterk, samtidig som den er formbar og kan støpes i ulike dimensjoner [1, s. 12]. Betong har den egenskapen at den tåler trykkrefter ekstremt godt og omtales etter den karakteriske trykkfastheten et prøvestykke skal ha etter 28 døgns herding [5, s. 32].

Blant flere av betongens egenskaper er de tre viktigste bestandighetene mot vann, at den er formbar og at det er et kostnadseffektivt materiale, med høy tilgjengelighet på betongens ingredienser [6, s. 3]. Strekkapasiteten i betong er lav og tilsvarer ca. 10% av trykkapasiteten til ordinær konstruksjonsbetong. Av den grunn er betong ofte støpt sammen med armeringsjern for å utbedre betongens evne til å ta strekkrefter [1, s. 37].

Grunnet de egenskapene som er nevnt over, blir betong brukt i mange ulike konstruksjoner. Disse konstruksjonene kan stille ulike krav, noe som gjør det nødvendig å utarbeide forskjellige betongtyper. Disse betongtypene er tilpasset ulike formål og blir utsatt for varierende utfordringer. En av de tilpassede betongtypene er selvkomprimerende betong.

En av forskjellene mellom selvkomprimerende betong (SKB) og ordinær konstruksjonsbetong (OKB) er de reologiske egenskapene. SKB komprimeres i formen, også rundt armering, kun ved hjelp av egenvekt. Det er derfor ikke nødvendig å vibrere SKB. I følge NS-EN 206:2013+NA:2021 skal synkutbredelsen overstige 550 mm. For å oppnå dette er det viktig å proporsjonere betongen med et høyere matriksvolum enn for OKB [1, s. 151-153]. I denne rapporten er alle resepter som er testet i laboratoriet proporsjonert som SKB.

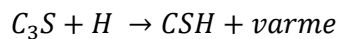
2.1.1 Betongens delmaterialer

Som nevnt i kapittel 2.1 er betong et materiale bestående av sement, tilslag og vann. I tillegg kan betongen tilsettes ulike tilsetningsmaterialer for å forbedre betongens egenskaper. Informasjon om sement og de tilsetningsmaterialene som er brukt i denne oppgaven er videre presentert nedenfor.

Portlandsement

Sement er et hydraulisk bindemiddel som inneholder silikater og aluminater fra kalk. Den mest vanlige hydrauliske sementen er portlandsement, som i all hovedsak inneholder reagerende kalsiumsilikater fra knust kalkstein. For å danne sement blir kalkstein oppvarmet i roterende ovner på ca. 1450 °C. Etter oppvarming er kalksteinen blitt gjort om til det som defineres som klinker. Klinkeren blir så tilsatt gips og malt ned til et fint pulver, ofte kalt ren portlandsement [7, s. 2].

Portlandsement inneholder i all hovedsak fire klinkermineraler; alite (C₃S), belite (C₂S), aluminate (C₃A) og ferrite (C₄AF). Alite reagerer raskest med vann og danner bindemiddelet CSH og er det mineralet som bidrar mest til tidligfasthet. De andre klinkermineralene bidrar òg til tidligfasthet, men mer til betongens sluttfasthet. Ligningen nedenfor angir reaksjonen som skjer, der vann er forkortet med bokstaven H [7, s. 8].



Det kreves store mengder energi for å brenne kalkstein og gjøre den om til klinker. Kalsineringsprosessen i Norge bidrar i dag med ca. 750 kg CO₂-ekvivalenter per tonn sement [8, s. 11]. I tillegg dannes CO₂ som følge av energien de roterende ovnene trenger for å oppnå 1450 °C. Denne oppvarming blir i stor grad produsert av fossilt brensel, men har de siste årene blitt kraftig redusert ved å benytte seg av andre, mer miljøvennlige, energikilder [1, s. 44].

Sementproduksjon i Norge blir produsert av Norcem, som er et datterselskap til byggevaregruppen HeidelbergCement. Her blir nesten all sement produsert av alternativt brensel, slik som papir-, plast- og tekstilavfall [9]. Andre sementleverandører til Norge er Cemex og Schwenk. Schwenk er blant annet produsent av lavvarmesementen som er blitt brukt i noen av denne oppgavens betongblandinger.

Flygeaske

Flygeaske (FA) er aske som er utfelt enten elektrostatisk eller mekanisk fra kullfyrte kraftverk og er det mest vanligste kunstige pozzolanet [7, s. 84]. Asken inneholder svært små partikler som fanges opp gjennom et filtreringssystem i kraftverkene. Disse partiklene har en diameter på mellom 5-20 µm og en overflate på mellom 300-500 m²/kg [10]. Flygeaske er et pozzolant pulver, med de samme grunnstoffene som i sement, og kan derfor erstatte deler av sementklinkeren [11].

Flygeaske har de samme egenskapene som sementen og reagerer derfor med Ca(OH)₂ og danner bindemiddel. Det vil si at flygeaske kan erstatte deler av portlandsementen og man får det som blir kalt en portlandblandesement. Det bidrar til en tettere betong, som i det lange løp gjør betongen sterkere, samtidig som bestandigheten øker, noe som igjen er bra for resistensen mot alkalireaktivt tilslag og klorider. Flygeasken bedrer støpelighet, samtidig som den minker behovet for vannmengde i miksen [11].

De mekaniske egenskapene til betongen påvirkes i forhold til mengde FA i blandingen. I 2019 utførte Lustosa og Magalhães en studie omhandlende flygeaskens påvirkning på trykkfasthet og E-modul. Betonger med 10% og 20% flygeaske utgjorde en økning i

trykkfasthet etter 28 døgn og betonger med 40% og 50% utgjorde en reduksjon. Resultatene viste også en reduksjon i E-modulen med økt mengde FA [12].

Tabell NA.12 i NS-EN 206:2013+NA:2021 klassifiserer to ulike blandingssementer med flygeaske:

- CEM II/A-V 6 – 20% flygeaskeinnhold
- CEM II/B-V 21 – 35% flygeaskeinnhold

En typisk portlandblandesement er Norcem Anleggsement FA, som er tilpasset anleggskonstruksjoner. Den kan brukes i alle eksponerings-, bestandighets- og fasthetsklasser og inneholder 81% portlandsement, 15% flygeaske og 4% kalsteinmel [13]. Denne sementen er brukt i referansebetongen for denne oppgaven.

Silikastøv

Silikastøv er et restprodukt ved produksjon av silisium- og ferrosilisiummetall. Den unnslippende gassen SiO₂, som kommer av denne produksjonen, oksiderer og kondenserer i form av svært fine sfæriske partikler på omtrent 0,1-0,5 µm. Silikastøv er svært reaktivt og fremskynder reaksjonen med kalsiumhydroksidet som igjen skaper bindemiddelet C-S-H. Dette er det samme reaksjonsproduktet som kommer av sement og vann, og bidrar derfor til betongens fasthet, tetthet og bestandighet [1, s. 93-100] [7, s. 86-88].

Tabell NA.12 i NS-EN 206:2013+NA:2021 klassifiserer en blandingssement med silikastøv:

- CEM II/A-D 6 – 10% silikainnhold

Slagg

Slagg er et restprodukt som blir dannet ved produksjonen av råjern og inneholder hovedsakelig kalk, silika og aluminium. Det blir ikke ansett som et pozzolan, slik som flygeaske eller silika, men et latent hydraulisk materiale. Det vil si at slagg har evnen til å reagere kjemisk uten å være kombinert med sement, forutsatt at pH-verdien er høy nok og mengden kalsiumoksid (CaO) er stor nok. Slagg er hovedmaterialet i Schwenk sin lavvarmesement, men blir ikke benyttet i sementproduksjon i Norge ellers [1, s. 104-106].

Ettersom slagg inneholder de samme oksidene som portlandsement, har den òg de samme reaksjonsproduktene som reaksjonen mellom vann og sement, men forholdene mellom de ulike oksidene er forskjellig og slaggets reaksjon skjer langsommere. Den tregere reaksjonen resulterer i en langsommere tidlig fastheten, men når reaksjonen først skjer holder den på lenger, noe som igjen gir en høyere slutfasthet enn hva en ren portlandsement gir [1, s. 104-106].

Slagget må bråkjøles, slik at det størkner som glass, og krystalliseringen forhindres i stor grad. Den raske avkjølingen resulterer også i fragmentering av materialet til en granulert form. De fleste slaggssementer må ha et bidrag fra portlandsement, da mengden CaO ikke er stor nok. Dette fordi slaggets reaksjon aktiveres av kalsiumhydroksid som dannes under sementhydratiseringen [7, s. 79-81].

Tabell NA.12 i NS-EN 206:2013+NA:2021 klassifiserer to ulike portlandslaggsementer:

- CEM II/A-S 6 – 20% slagginhold
- CEM II/B-S 21 – 35% slagginhold

I tillegg klassifiserer to ulike slaggsementer:

- CEM III/A 36 – 65% slagginhold
- CEM III/B 66 – 80% slagginhold

Superplastiserende

Superplastiserende er et tilsetningsstoff som er vannreducerende, i tillegg til å bedre støpeligheten. Det fungerer ved å binde seg rundt sementpartiklene og gir en negativ ladning. Den negative ladningen sprer sementpartiklene og hindrer dem fra å samle seg, noe som videre øker reaktantene [14, s. 257-261]. For å danne selvkomprimerende betong er det vanlig å ta i bruk superplastiserende for å oppnå riktig flyteegenskap [15, s. 33].

2.1.2 K-verdi

Alle betonger, hvor bestandighetsklassen er ulik, blir stilt krav til største masseforhold i NS-EN 206:2013+NA:2021. Standarden definerer masseforhold etter følgende formel:

Ligning 1. K-verdi.

$$m = \frac{v}{c + k \cdot p}$$

der m = masseforholdet vann/bindemiddel (også kalt v/c-tallet)
 v = totalt fritt vanninnhold
 c = sementinnhold
 k = virkningsfaktor for aktuelle tilsetningsmaterialer
 p = innhold av tilsetningsmaterialer

Hensikten med virkningsfaktoren er at den reflekterer tilsetningsmaterialets effekt på betongens bestandighetsegenskaper og er forskjellig for ulike type II materialer [8, s. 17].

Flygeaske

Bruksregler for flygeaske er gitt i NS-EN 206:2013+NA:2021, under punkt NA 5.2.5.2.2. Sementene angitt i Tabell NA.9 er sementer hvor tilsatt flygeaske kan tas med i beregningen av masseforhold og effektivt bindemiddel [8, s. 17]. Ved beregning av masseforholdet angir standarden k=1,0 for bestandighetsklasse M90, k=0,4 for bestandighetsklasse M60 og k=0,7 for bestandighetsklasse M45/MF45 og M40/MF40 [16].

Det kan regnes med k-verdi tilsvarende til hva øvre grense er definert i standarden, som er 35% av det totale bindemiddelet. Det er lov å tilsette mer flygeaske utover denne maksimalgrensen, men da må k-verdien settes lik null for den overstigende andelen. Ved beregning av prosentinnholdet av flygeaske i bindemiddelet skal andelen flygeaske som tilhører en blandingssement tas med i regnestykket [8, s. 17]. Videre vil mengder over 35% FA resultere i mer dokumentasjonsarbeid, da det velges å overskride det standarden har satt som maksverdi.

Silikastøv

Bruksregler for silikastøv er gitt i NS-EN 206:2013+NA:2021, avsnitt NA.5.2.5.2.3. Sementene angitt i Tabell NA.10 er sementer hvor tilsatt silikastøv kan tas med i beregningen av masseforhold og effektivt bindemiddel [8, s. 17]. Ved beregning av masseforholdet angir standarden $k=1,0$ for bestandighetsklasse M90 og M60 og $k=2,0$ for bestandighetsklasse M45/MF45 og M40/MF45 [16].

Det kan regnes med k -verdi tilsvarende til hva øvre grense er definert i standarden, som er 11% av det totale bindemiddelet. Tilsetninger av silikastøv over dette nivået får k -verdi = 0 [16].

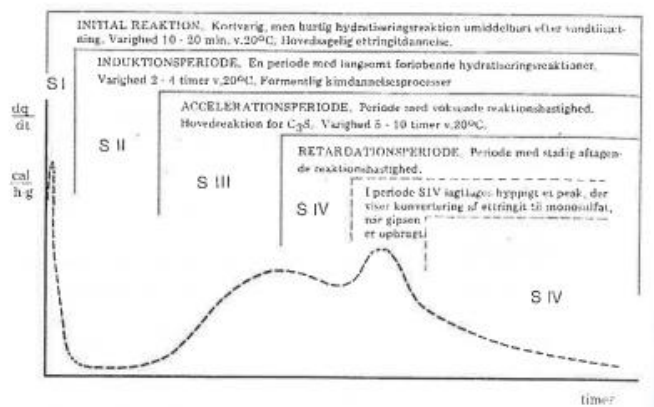
Slagg

Bruksregler for slagg er gitt i NS-EN 206:2013+NA:2021, avsnitt NA.5.2.5.2.4. I Norge finnes det bare blandesementer for slagg og slagg er derfor ikke tilgjengelig som tilsetningsmateriale. Sementer angitt i Tabell NA.11 er sementer hvor tilsatt slagg kan tas med i beregningen av masseforhold og effektivt bindemiddel [8, s. 18]. Ved beregning av masseforhold angir standarden $k=1,0$ for bestandighetsklasse M90, $k=0,5$ for bestandighetsklasse M60, $k=0,8$ for bestandighetsklasse M45 og M40. Videre angir standarden $k=0,8$ for bestandighetsklasse MF45 og MF40, gitt at det er benyttet sementer tilknyttet CEM I eller CEM II i gruppe A. Sementer tilknyttet CEM II i gruppe B og CEM III i bestandighetsklasse MF45 og MF40, samt alle øvrige sementer, gis ingen regler for k -verdi i kombinasjonen av sementtype og bestandighetsklasse [16].

2.1.3 Betongens varmeutvikling

Betongens varmeutvikling avhenger av en rekke faktorer, der de viktigste er sementsammensetningen, sementens finhet, type og dosering av tilsetningsstoffer, temperatur og eventuelt hvilke pozzolaner det er tilsatt. En fullstendig hydratisering av portlandsement, selv om det er svært uvanlig, generer mellom 400-500 kJ/m³. Generelt sett vil parametere som økt mengde finhet i sementen og høyere andel sement generere et større overflateareal som videre akselerer reaksjonen mellom sement og vann og gir en høyere temperaturutvikling. Høyere v/c -tall har også mye å si, med tanke på hvor mye vann som tilsettes blandingen [17, kap. 6, s. 9-11].

Figur 2.1-1 viser betongens varmeutvikling for en ren portlandsement, fordelt over fem faser:



Figur 2.1-1. Varmeutvikling [17].

Fase 1 er kortvarig, men utgjør en hurtig hydratiseringsreaksjon umiddelbart etter tilsetning av vann. Varigheten er på mellom 10-20 minutter og danner hovedsakelig C_3A .

I fase 2 starter produksjonen av C_3S , der varigheten ligger på mellom 2-4 timer, men kan bli modifisert med tilsetningsmaterialer. I denne fasen begynner betongen å størkne. Det er i fase 2 glidestøpen hovedsakelig skjer.

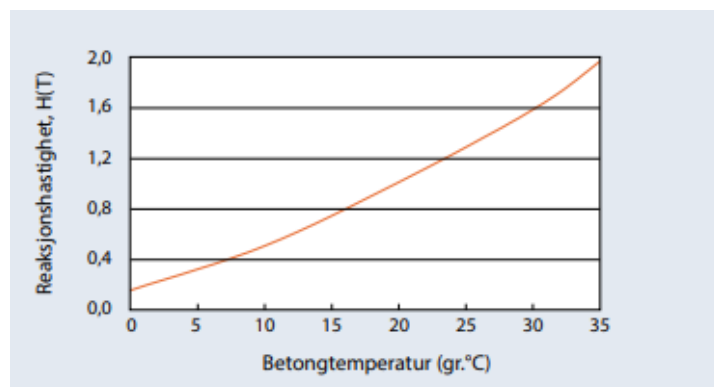
Fase 3 blir kalt akselerasjonsfasen og varer normalt mellom 5-10 timer ved 20 °C, men avhenger veldig av temperaturen. Reaksjonshastigheten øker gradvis, og danner i hovedsak C_3S , som igjen danner C-S-H. Det er i denne fasen betongen setter seg og utvikler styrke. Fase 3 tilsvarer tiden når betongen er på vei ut av glideformen.

I fase 4 binder C-S-H mer vann og faste stoffer dannes på C_3S overflatene. Avstanden mellom klinkerkornene fylles og porøsiteten avtar. Reaksjonsraten avtar siden den interne transportprosessen går tregere på grunn av diffusjonskontroll.

I fase 5 skjer en rask økning. Denne økningen skjer på grunn av C_3A gjøres om til monosulfat, etter at gipsen er oppbrukt [17, kap 6, s. 10-11].

2.1.4 Temperaturpåvirkning

Omgivelsestemperaturen har mye å si for hydratiseringsgraden. Dersom omgivelsestemperaturen øker eller minker vil også hydratiseringshastigheten øke eller minke. Reaksjonshastigheten avhenger altså av omgivelsestemperaturen, der en betong herder dobbelt så fort ved 35 °C som ved 20 °C [18]. Figur 2.1-2 viser reaksjonshastigheten i forhold til betongens utsatte omgivelsestemperatur.



Figur 2.1-2. Relativ reaksjonshastighet ved ulike betongtemperaturer [18].

I glidestøp sammenheng kan høy omgivelsestemperatur gi en forhøyet styrkningsutvikling og reduksjon i betongvolum. Denne volumendringen er kalt plastisk svinn, og kan gi sprekker når betongen kjøles ned. En forhøyet styrkningsutvikling øker også glidehastigheten. På den andre siden, vil en kald omgivelsestemperatur redusere styrkeutviklingen og kaldt vann kan danne små iskrystaller som gjør at betongen får frostskafer. Redusert styrkeutvikling reduserer også glidehastigheten [19, s. 28-29].

2.2 Miljøvennlig betong

Som nevnt i underkapittel 2.1.1, er produksjonen av sement svært miljøskadelig og det forekommer at sementen står for mer enn 90% av det samlede klimagassutslippet til betong [8, s. 11] og at den i 2020 utgjorde mellom 7-8% av verdens totale CO₂-utslipp [20]. Mengden CO₂-ekvivalenter per tonn sement i Norge anses å være moderat, der andre deler av verden har opp mot 900 kg CO₂-ekvivalenter per tonn sement. De siste 10-20 årene har det blitt lagt ned stor innsats for å redusere energiforbruket og klimagassutslippet, ved å blant annet bruke mer miljøvennlig brensel. I tillegg har sementindustrien lagt ned mye innsats for å utvikle teknologi som kan bidra med å fange opp, og deponere, CO₂ fra forbrenning [8, s. 11-12].

2.2.1 Tilsetningsmaterialer

Det er ikke mulig å redusere utslippet fra selve kalsineringsprosessen fra kalkstein. Men et alternativ er å redusere andelen klinker i sementen og dermed redusere produksjonen, ved å tilsette erstatningsmaterialer som har gode bindemiddelegenskaper, og samtidig mye mindre klimagassutslipp. Slike erstatningsmaterialer kan være pozzolaner eller hydrauliske bindemidler, presentert i kapittel 2.1.1. Disse erstatningsmaterialene, kombinert med en viss mengde sementklinker, produserer bindemiddelet betongen er avhengig av. Det er likevel viktig å påpeke at produksjonen av tilsetningsmaterialer er restprodukter fra industrien og dermed kilder til klimagassutslipp [8, s. 12-13].

Silikastøv er et meget effektivt tilsetningsmateriale [1, s. 46]. NS-EN 206:2013+NA:2021 gir mulighet til å regne med inntil 11% av den totale bindemiddelmengde. Av den grunn er det begrenset hvor mye silikastøv bidrar med hensyn til klimagasser, da det fremdeles er nødt til å være store mengder sement i betongen. Likevel kan silikastøv tilsettes sementer med enten flygeaske eller slagg, og dermed redusere mengden sement enda litt mer.

Flygeaske er mindre effektivt enn silikastøv, men kan benyttes i større mengder [1, s. 46]. NS-EN 206:2013+NA:2021 gir mulighet til å regne med inntil 35% av den totale bindemiddelmengden. I kapittel 2.1.1 ble Norcem sin Anleggssement FA presentert. Den har et utslipp på 637 kg CO₂-ekvivalenter per tonn sement, som vil si ca. 150 kg mindre enn Norcem Industrisement, som er en ren portlandsement [8, s. 29].

Slagg har en sammensetning som rent kjemisk ligner portlandsementen. Av den grunn gjør NS-EN 206:2013+NA:2021 det mulig å erstatte klinkerinnholdet med inntil 80% av den totale bindemiddelmengden. Slaggsementer har et stort potensial som miljøtiltak, da det tillates store mengder slagg som erstatningsmateriale til klinker, men det eksisterer ikke tilstrekkelige mengder slagg på generell basis i forhold til mengden betong som produseres årlig [1, s. 104]. I kapittel 2.1.1 ble schwenk lavvarmesement presentert. Den har et utslipp på 347 kg CO₂-ekvivalenter per tonn sement [8, s. 28], som er mye lavere enn for eksempel Norcem Anleggssement FA.

2.2.2 Geopolymer

Geopolymer er en betegnelse på en mineralkjemisk forbindelse, eller en blanding av forbindelser, som består av repeterende geologiske enheter, som for eksempel uorganiske metalloksider som silisium og aluminium. Den kjemiske strukturen har likhetstrekk med zeolittmineralet, da begge består av et tredimensjonalt nettverk av silikat og aluminium

tetraedre, AlO_4^- og SiO_4^- . Forskjellen ligger dog i mikrostrukturen: Zeolitt har en typisk krystallisk struktur, der geopolymers struktur hovedsakelig er amorf til semikrystallin [21, s. 6-7].

Hermansen, (2018) skriver:

Kjemisk fremstilt zeolitt er forøvrig kjent som et sekundærprodukt for alkali aktiverte materialer, på samme måte som en finner tilstedeværelsen av C-A-C-H gel, ved C-S-H gel produksjon under portlandhydratasjon. Denne geosynteseringen i geopolymer kan forklares ved at det foregår produksjon av «kunstig stein» som gir tilhørende egenskaper som hardhet, bestandighet og varme- og brannisolerende evner [22, s. 26].

Polymeriseringsprosessen danner et bindemiddel som er ulik fra det bindemiddelet hydratiseringen av portlandsement produserer. I en geopolymer skjer en kondensreaksjon mellom de oppløste silikatene og aluminatene, i en sterk basisk porevannløsning. Til bruk i betongsammenheng, er geopolymer avhengig av en alkalisk aktivator for å sette i gang polymeriseringsprosessen, der de mest brukte aktivatorene er alkalihydroksid eller alkalisilikat. Alkaliske aktivatorer er viktig fordi de bidrar til å øke pH-verdien, som igjen løser opp aluminiumsilikatene i blandingen. I tillegg har de en elektrisk nøytralitet i matriksen. Dette bidrar til å ikke oppnå en ubalanse i negative ladde partikler tetraedrene i geopolymeren forårsaker. En klar forskjell mellom betong lagd av geopolymer og en betong lagd av portlandsement er at vann ikke er nødvendig å ha som reaktant. Det fungerer kun som en katalysator og inngår ikke i polymeriseringsprosessen [22, s. 27].

Da geopolymer fungerer som en annen type bindemiddel i betongen, og verken er lik eller avhengig av portlandsement, blir geopolymer i dag fremstått som det grønne alternativet til portlandsement. Likevel er ikke bruken av geopolymer like fullt akseptert i betongnæringen, da den har en del praktiske begrensninger. For å øke pH-verdien i tilstrekkelig grad, må de alkaliske aktivatorene helst tilsettes på stedet. Dette er lite ønskelig, da håndteringen utgjør en HMS-risiko. I tillegg til dette har betongen en svært lav tidlig fasthetsutvikling ved romtemperatur. Dette gjør at herdingen helst bør skje i temperaturer opp mot 50-60 °C. Formoljen reagerer med geopolymeren og mister dermed sin hensikt med å løsne betongen fra forskalingen [22, s. 27]. I tillegg til alt dette er ikke geopolymer dekket i noen standard. Arbeidsmengden i forhold til økt dokumentasjonsarbeid blir derfor mer omfattende [23, s. 20].

2.3 Porevanntrykk

Under hydratiseringsprosessen skjer en volumendring, der 25,4% av volumet er den reagerte vannmengden. Sementlimet får en fast struktur og det kjemiske svinnet resulterer i en indre poredannelse i betongen. Disse porene kalles kontraksjonsporer. Dersom ikke alt vannet reagerer med sementen, danner det resterende vannet en annen type pore i betongen, såkalte kapillærporer. Poretrykket som diskuteres videre i denne oppgaven er det trykket vannet oppnår i disse kapillærporene [1, s. 58-62].

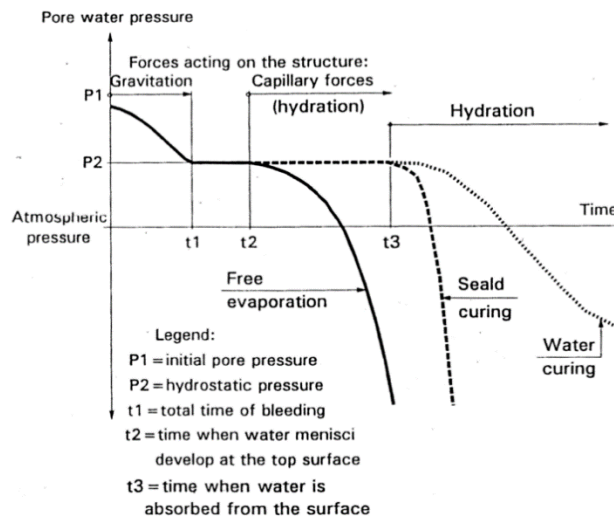
2.3.1 Generelt

Betongens utvikling etter blanding kan deles inn i tre faser: flytende fase, semiflytende fase og herdefase. I den flytende fasen har betongen god støpelighet og det er i denne fasen betongen støpes i formen. Setninger og blødning oppstår, og nivået av hydratasjon er lav.

Når det oppstår kontakt mellom partiklene, og betongen begynner å danne en selvberende struktur avsluttes denne fasen. I den semiflytende fasen er nivået av hydratasjon fortsatt lav, men dannelsen av kontraksjonsporer begynner å skje. Når betongen viser tegn til avbinding, øker temperaturen og hydratasjonen, og betongen går inn i siste fase, herdefasen [24, s. 33].

Gjennom betongens herdetid vil porevanstrykket variere. I fersk fase er de faste partiklene og blødning det som påvirker porevanstrykket. I den semiflyende fasen er det betongens sementhydrering, gjenoppsug og overflatetørking som påvirker trykket [2, s. 6]. Den målte verdien av porevanstrykket i en flytende betong umiddelbart etter støp, er lik det hydrostatiske trykket i betongen. Etter hvert avtar trykket, som et resultat av betongens dannelse av selvberende struktur [25, s. 2-3].

En fiktiv kurve, som representerer porevanstrykket som en funksjon av tid, er vist i Figur 2.3-1.



Figur 2.3-1. Dannelsen av porevanstrykk [2, s. 11].

Når betongen er støpt ut, vil sementpartiklene være støttet av væsken, og det hydrostatiske trykket P_1 på en bestemt dybde overstiger det normale hydrostatiske trykket P_2 på den respektive dybden. På grunn av sedimenteringen av sementkornene, vil poretrykket minke fra P_1 til P_2 etter en viss tid. Starttrykket P_1 , avhenger av sementpastaens densitet og på hvilken dybde målingene blir utført på. Tiden t_1 tilsvarer tiden betongen er utsatt for blødning, og er en funksjon av v/c -tallet og typen sement som er benyttet. Mellom t_1 og t_2 , er overflaten dekket med vann, som ikke vil ha noe innvirkning på poretrykket. Etter en viss tid t_2 starter poretrykket å avta igjen. Porevanstrykket avtar på grunn av dannelse av menisk på overflaten og hydratiseringen av sementen [26, s. 8-10]. Det er mellom t_2 og t_3 kapillærporene hovedsakelig dannes, og etter t_3 reduseres poretrykket som følge av hydratasjon og kjemisk svinn [2, s. 11].

2.3.2 Hydratiseringens effekt

Kjemisk svinn oppstår i det reaksjonen mellom sement og vann skjer. Men det er under den semiflytende fasen, når betongen står på egen hånd, at de tomme porene vil dannes. På samme tid skjer volumendringen som følger av betongens kjemiske svinn. Gjennom

denne perioden vil de største kapillærporene begynne å tørke ut på grunn av sementhydratiseringen og vannet vil gradvis omdannes til damp. Gelporene som dannes under hydratisering, vil drenere vann fra de groveste kapillærporene, fordi det frie vannet holdes av krefter som er omvendt proporsjonale med diameteren. Denne prosessen er kjent som selvuttørring og er sterk relatert til dannelsen av mikrostrukturen. Konsekvensen er dannelse av menisk og en avtagende relativ fuktighet. Menisken vil gi et lavere negativt kapillærtrykk i porevannet [2, s. 12-15].

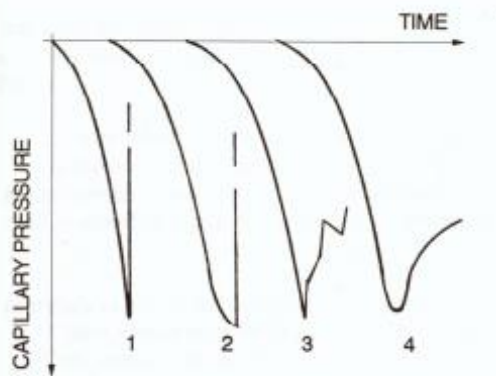
Kapillærspenningen til poretrykket vil øke ettersom hydratiseringen fortsetter. Lavere v/c-tall og finere mikrostruktur vil øke spenningen. Det betyr at porevannstrukturen avhenger av betongens sammensetning. Mer sement og høyere innhold av finstoff vil begge resultere i høyere reduksjon av porevanntrykk [2, s. 12-15].

2.3.3 Gjennombruddstrykk

Etter hvert som overflaten tørker ut, eller på grunn av hydratiseringen, vil poretrykket avta. Etter en stund vil poretrykket nå en negativ maksverdi, slik at vannet ikke klarer å finne nye stabile posisjoner. Dette fører til at kapillærtrykket ikke opprettholdes og vannet blir ustabil. Denne hendelsen er kalt gjennombruddstrykk og er det minste porevanntrykket der det gjenværende vannet ikke lenger klarer å opprettholde et kontinuerlig system i betongen [27].

Radocea (1992) har delt gjennombruddstrykket inn i fire forskjellige typer [26, s. 97]:

1. En høy rate på trykkendringen blir plutselig avbrutt, noe som er den mest vanlige
2. En avtagende rate på trykkendringer blir plutselig avbrutt
3. En høy rate på trykkendringen fulgt av en ustabil periode
4. En jevn overgang fra høy rate på trykkendringen til et mer konstant trykk



Figur 2.3-2. De ulike typene trykkendring før og etter gjennombruddstrykk [26, s. 97].

2.4 Glidestøp

Glidestøp er en konstruksjonsmetode der betongen støpes ut lagvis i en glideform som løftes med jevne mellomrom etter hvert som betongen herder [28]. Det kjennetegnes som en bevegelig forskaling, med en vertikal eller horisontal bevegelse og en døgkontinuerlig støpeprosess, som former betongens geometri. Glideforskalingen løftes opp i trinn med tidsintervaller som er tilpasset betongens avbindingstid og arbeidsomfang i forbindelse med armering, støping og plassering av innstøpingsgods. Det er en effektiv

utførelsesmetode for vertikale betongkonstruksjoner og er en typisk løsning ved støp av konstruksjoner som brutårn, siloer og heissjakter. I tillegg bygges mange offshorekonstruksjoner med glidestøp. Glidestøp kan utføres både horisontalt og vertikalt [4, s. 6-7].

2.4.1 Fordeler og ulemper

Som med alle konstruksjonsmetoder er det både fordeler og ulemper med glideforskaling.

Fordeler [3, s. 6]:

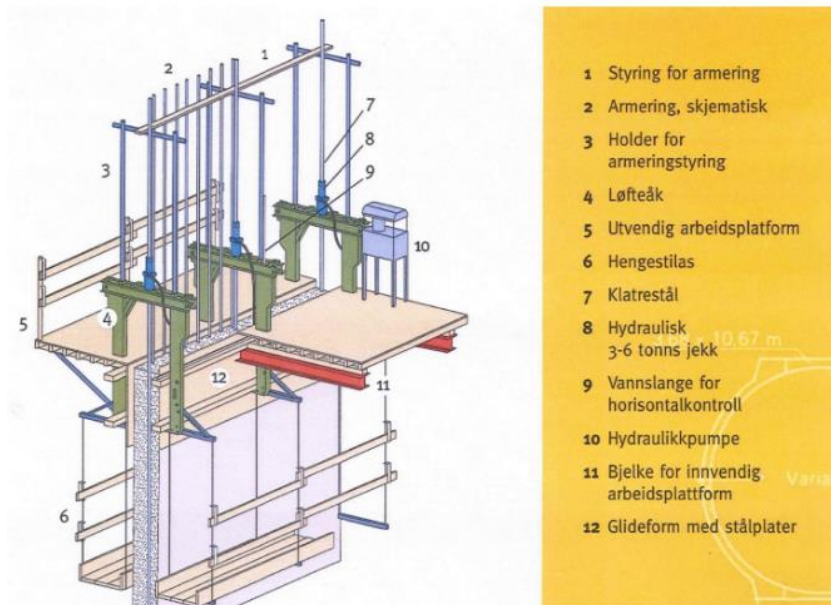
- Ingen horisontale støpeskjøter
- Utstøping i tynne betonglag og med liten stige-hastighet gir gunstig revibrering av all betong
- Ingen armeringsstoler i overdekningssjiktet
- Ingen gjennomgående stag/staghull
- Liten glidehastighet gir god spredning av hydratasjonsvarme, lavere maksimumstemperatur og lavere herdespenninger
- Rask framdrift relativt uavhengig av værforhold
- God visuell kontroll med plassering og komprimering av betong i formen

Ulemper [3, s. 6]:

- Overdekningsbetongen påvirkes av krefter i tiden fra støp til avbinding. Dette kan gi riss og endre/ødelegge komprimeringen av betongen.
- Vertikale striper kan oppstå dersom betongen henger fast på forskalingen
- Tiden for å utføre overflateutbedringer er begrenset
- Vibrering kan være vanskelig, da det er mye armering i veien
- Stort tidspress på plassering og binding av armeringen
- Utsparinger og innstøpningsgods vil plasseres med mindre nøyaktighet
- Fjerning av regnvann fra støpefronten kan være problematisk
- Utstøping må fortsette selv om værforholdene blir dårlig
- Vanskelig å få jevn herdefront på hule søyler ved kraftig oppvarming/nedkjøling
- Armeringen bender, eventuelt kan overdekningen bli redusert dersom gliden skjevkjøres
- Krever stor årvåkenhet og mer kontroll enn andre konstruksjonsmetoder. Støp foregår hele døgnet.

2.4.2 Glideformen

Glideformen er bygd opp rundt løfteåkene, som igjen er festet til klatrestålet. I tillegg er de hydrauliske jekkene, som løfter glideforskalingen og som er styrt av en sentral hydraulikkenhet, festet på klatrestålet. Forskalingen og arbeidsplattformen er forbundet med løfteåkene. Det er på arbeidsplattformen blant annet betongen blir helt oppi forskalingen. Under arbeidsplattformen er det festet et hengende stillas, både på ut- og innvendig side, som blir benyttet til inspeksjon og etterarbeid. Vertikalarmeringen holdes på plass ved hjelp av armeringsføringer over arbeidsplattformen [4, s. 26-27].



Figur 2.4-1. Glideform [4, s. 26].

2.4.3 Glidehastighet

En normal glidehastighet er på mellom to til fire meter per døgn. En lav glidehastighet øker faren for at betongen gror seg fast til glidepanelet, mens en høy glidehastighet kan gi uønskede konsekvenser selv ved små driftsforstyrrelser [4, s. 42]. Betongen legges i 100 til 250 mm tykke lag så lenge høyden på fribordet er tilstrekkelig [2, s. 2].

Planlegging av glidehastighet avhenger av en rekke variabler, deriblant betongens kompleksitet, bemanning av glidestøpen, arbeidernes erfaring og eventuelle materialbegrensninger. Herdetiden til betongen tilpasses den planlagte glidehastigheten og avhenger av betongens temperatur og sammensetning, samt egenskapene til den anvendte sementen. Et alternativ er å benytte seg av retarderende eller akselererende tilsetningsstoffer for å justere herdetiden [2, s. 2]. Forholdet mellom betongens herdetid og glidehastighet kan beregnes ved å benytte seg av følgende ligning:

Ligning 2. Glidehastighet.

$$V_s = \frac{(h_1 - h_2)}{(t_s - t_t)}$$

- der
- V_s = Glidehastigheten [mm/t]
 - h_1 = Avstanden mellom øvre forskalingskant og herdefronten [mm]
 - h_2 = Avstanden mellom øvre forskalingskant og fribordet [mm]
 - t_s = Betongens avbindingstid [t]
 - t_t = Tiden fra miksing til støp [t]

Løftingen av glidepanelet utføres med jevne mellomrom avhengig av glidehastigheten. Løftingen kan justeres fra 10 til 25 mm avhengig av ønsket frekvens på løftene. Med et hydraulisk system, kan løfteoperasjonen utføres ved å øke oljetrykket. Når oljetrykket er tilstrekkelig nok til å overvinne friksjonen og vekten av formen, vil glideformen begynne å løfte. Etter glideformens løft, slippes formen ned, frem til jekkenes bremses aktiveres. Normalt tilsier dette 2 mm [2, s. 2].

2.4.4 Friksjon

Friksjonen som oppstår under en glidestøperasjon kommer fra det løftede glidepanelet i kontakt med betongens overflate. Den avhenger av ruheten til glidepanelet, overflatens areal, betongens effektivtrykk, løftehøyde per løft og tiden mellom hvert løft [29, s. 14].

Før løftet av glidepanelet kan skje, må løftekraften overkomme friksjonen mellom betongen og glidepanelet. Denne friksjonskraften er definert som den minste drivkraften, som setter i gang glidning og kalles statisk friksjon. Når panelet starter å gli langs betongen, minker intensiteten av friksjonen. Den laveste friksjonskraften blir kalt glidefriksjon [2, s. 22]. Forholdet mellom friksjonskraften og normalkraften kan beskrives med den generelle friksjonsligningen:

Ligning 3. Friksjonsligning.

$$F = \mu \cdot N$$

der F = Friksjonskraften

N = Normalkraften. Betongens trykk mot glidepanelet.

μ = Friksjonskoeffisienten for statisk friksjon eller glidefriksjon

I det hydratiseringen starter øker den statiske friksjonen, inntil maksverdien er nådd ved avbindingstidspunktet. Glidefriksjonen vil omtrent ikke endre seg gjennom betongens utvikling, uavhengig om betongen er fersk eller herdet [2, s. 23].

Hammer (2006) kan oppgi at den friksjonen som oppstår i grensesnittet mellom betongen og panelet vil fremstå som skjærkraft og overføres til betongdekket. Tester han har utført viser at porevanstrykket er betydelig større enn normaltrykket og at det kan betraktes som hovedparameteren for styring av friksjon. Derfor kan friksjonen sees på som sugkraften mellom betong og panel [25, s. 7].

2.4.5 Betongens trykk mot panelet

Betongens horisontaltrykk mot panelet avhenger av betongegenskapene til de forskjellige lagene. Betong som holder bevegeligheten lenge, vil gi et høyere horisontaltrykk mot panelet enn en betong som mister bevegeligheten forttere. Når betongen er stiv nok til å bære sin egen vekt vil den løsrive seg fra glidepanelet [2, s. 25].

2.4.6 Effektivtrykk

Betongen kan deles inn i to faser, partikkelfasen og væskefasen. Væskefasen kan overføre trykk, men den kan ikke motstå skjærkrefter. Det effektive trykket representerer trykket mellom partiklene og det er kun de faste partiklene i betongen som kan motstå skjærkrefter og bidra til friksjon. Trykket overføres gjennom kontaktpunktene mellom partiklene og er differansen mellom normaltrykket og porevanstrykket [25, s. 7]. Effektivtrykket representerer den gjennomsnittlige kornstørrelsen og kan bli kalkulert med følgende ligning:

Ligning 4. Effektivtrykk.

$$\sigma' = \sigma - u \cdot \left(\frac{A - A_c}{A} \right)$$

der σ' = Effektivtrykket
 σ = Totaltrykket
 u = Porevanntrykket
 A = Betongens totale areal
 A_c = Arealet der de faste partiklene er i kontakt

A_c er normalt mye mindre enn A , og for betonger i tidlig fase er A_c normalt veldig liten, selv når det antas at den øker med hydratiseringsgraden. Hvis A_c antas lik null, kan ligning 4 forenkles til:

Ligning 5. Forenklet effektivtrykk.

$$\sigma' = \sigma - u$$

Totaltrykket i betongen vil i prinsippet forbli konstant, mens porevanntrykket avtar med tiden på grunn av utviklingen av kapillære krefter. De kommer av betongens selvuttørking eller av at overflaten tørker ut [2, s. 9-11]. Hypotesen er at effektivtrykket styrer friksjonen og at det dermed øker lineært med løftekraften.

3 Prøveprogram og laboratoriearbeid

Oppgavens fokus har vært å kartlegge hvilke miljøvennlige betongoppskrifter som fungerer for glidestøp, og har dermed vært avhengig av glidestøptester i laboratorium. I dette kapittelet blir oppgavens prøveprogram presentert (3.1), for så å gi en kort gjennomgang av hvordan laboratorietestene ble gjennomført (3.2). Videre presenteres hvilke betongegenskaper betongen er testet for (3.3) og til slutt gis en introduksjon av den benyttede glideriggen, sammen med alle måleinstrumenter og sensorer (3.4).

3.1 Prøveprogram

Betongoppskriftene er blitt proporsjonert med hjelp fra Skanska sitt regneark. Alle prøveprogrammene har hatt samme utgangspunkt, med et antatt luftinnhold på to prosent, et masseforhold på 0,40, matriksvolum på 350 l/m^3 , lik sikteanalyse og bestandighetsklasse M40. Bindemiddel, tilsetningsmateriale og k-verdi er de eneste variablene. I henhold til Tabell NA.9 og NA.10 i NS-EN 206:2013+NA:2021 er k-verdien for silika og flygeaske satt til 2,0 og 0,7. For prøveprogram 3 og 8 er k-verdi satt til 1,0. Dette fordi de overstyrte standardens maks andel tillatt flygeaske og for at k-verdien ikke skulle danne ukorrekte målinger under glidestøpoperasjonen.

I denne oppgaven er det blitt utført 9 blandinger, der prøveprogram 1-6 er gjennomført ved romtemperatur og prøveprogram 7-9 er gjennomført med forhøyet omgivelsestemperatur på $25 \text{ }^\circ\text{C}$:

1. Norcem Anleggsement FA
2. Norcem Anleggsement FA med 6% silika
3. 50% Norcem Anleggsement og 50% FA
4. Schwenk lavvarmesement
5. Schwenk lavvarmesement med 5% silika
6. 65% Anleggsement og 35% FA
7. Norcem Anleggsement FA (nr. 2)
8. 50% Norcem Anleggsement og 50% FA (nr. 2)
9. Schwenk lavvarmesement (nr. 2)

Det var planlagt å støpe 10 blandinger, der den siste skulle være en geopolymerblanding. Da materialer ikke var mulig å få tak i, ble til slutt denne ekskludert.

Prøveprogrammene ovenfor er blitt gitt forenklete navn videre i rapporten. De er navngitt etter hvilken type tilsetningsmateriale og prosentandel som er benyttet i blandingen (SF – silikastøv, FA – flygeaske, BS – slagg). Prøveprogram 7-9 er blitt gitt « 25°C » på slutten, for å indikere omgivelsestemperaturen den er støpt i.

- | | |
|-----------------|-------------------------------------------|
| 1. Ref.Bet | [Referansebetong] |
| 2. Ref.Bet.6SF | [Referansebetong med 6% SF] |
| 3. 50FA | [50% FA] |
| 4. 70BS | [70% slagg] |
| 5. 70BS.5SF | [70% slagg med 5% SF] |
| 6. 35FA | [35% FA] |
| 7. Ref.Bet.25°C | [Referansebetong ved 25°C] |

8. 50FA.25°C
9. 70BS.25°C

[50% FA ved 25°C]
[70% slagg ved 25°C]

3.2 Gjennomgang av LAB-forsøk

Betongbeholderen ble vasket og rensset, før alle forskalingsvegger, utenom glidepanelet, ble tilført et lag med formolje. Det dannes et lite glippe mellom betongbeholderen og glidepanelet. Denne glippen ble tett av maskeringsteip. Til slutt ble alle målesensorer testet ved å tilføre et midlertidig trykk, for så å nullstilles.

Fuktinnholdet i sanden ble testet med et testapparat med navn «Speedy Moisture test». Det ble antatt tørr pukk. Deretter ble delmaterialer veid opp og helt oppi betongmikseren. Superplastiserende tilsetningsstoff ble tilsatt og betongen ble testet for selvutbredelse for å sikre at den tilfredsstilte kravene for SKB. Det ble valgt SKB, da OKB krever vibrering, som igjen ville påvirket sensorene og gitt urimelige data. Det ble produsert 115 liter betong, der mesteparten ble benyttet til glideoperasjonen. Det ble også støpt seks terninger og to sylindere.

Poretrykksmåleren og temperaturmåleren ble så satt i. Avhengig av betongens delmaterialer, ble det ventet mellom 1-2,5 time før glidepanelet ble satt i gang.

De første timene av glideoperasjonen ble normaltrykket justert for å holde det lik initialtrykket. Da betongen begynte å stive av kunne denne justeringen avta. Glidepanelet ble stoppet dagen etter og programvaren lagret alle data.

3.3 Betongegenskaper

Betongegenskapene som er testet i denne oppgaven, der betongen er i fersk fase, er henholdsvis synkutbredelse for selvkomprimerende betong, densitet og luftinnhold. Etter 28 døgns herding i vannbad er tester for trykkfasthet, E-modul og spaltestrekkfasthet gjennomført.

- Metoden for synkutbredelse er angitt i NS-EN 12350-8:2019
- Metoden for måling av densitet er angitt i NS-EN 12350-6:2019
- Metoden for måling av luftinnhold er angitt i NS-EN 12350-7:2019 etter innhold 6
- Metoden for testing av trykkfasthet er angitt i NS-EN 12390-3:2019
- Metoden for testing av E-modul er angitt i NS-EN 12390-13:2019 etter metode A
- Metoden for testing av spaltestrekkfasthet er angitt i NS-EN 12390-6:2009

3.4 Glideriggen

Universitetet i Stavanger sin gliderigg er for vertikale glidestøp som måler ulike parametere. Disse er normaltrykket betongen utgjør mot glidepanelet, temperaturmålinger i og utenfor betongen, glidepanelets løftekraft og -frekvens, glidepanelets posisjon og betongens porevanntrykk. I motsetning til de fleste glideformer, er denne glideriggen kun utstyrt med ett glidepanel. De resterende tre sidene er normale forskalingsvegger, laget av kryssfinerplater med en filmbelagt overflate, som ikke kan heves eller senkes. Glideriggen er konstruert av RHS-stålelementer med dimensjonen 100x100 mm. Den er tre meter høy, der selve betongbeholderen er festet en meter over gulvet. Betongbeholderens dimensjon er 600 mm bred, 900 mm høy og 300 mm dyp, noe som tilsvarer en betongmengde på 160 liter. Glideriggen er plassert i et lukket rom, med

tilgang gjennom garasjedør. Dette for å kunne etablere høyere omgivelsestemperatur rundt glideriggen, uten å være avhengig av å varme opp hele laboratoriet.



Figur 3.4-1. Glideriggen ved UiS [24, s. 44].

3.4.1 Glidepanel

Det benyttede glidepanelet er laget av en 20 mm kryssfinerplate, med en 0.9 mm stålplate festet rundt kryssfinerplaten. Panelet veier 48,04 kg. For å heve panelet, er det festet en elektrisk motor til toppen, som igjen er styrt av et kontrollpanel. For å simulere slippet de hydrauliske jekkene gir under en glideoperasjon, senker motoren glidepanelet 2 mm etter å ha løftet det 12 mm. Dette gjør at panelet løftes 10 mm for hvert løft. Alle laboratorieforsøk er utført med løft hvert 15 minutt, noe som tilsvarer 40 mm/t.

Det er installert en sensor mellom panelet og motoren. Denne sensoren måler kraften motoren bruker på å heve glidepanelet og er av typen HBM U2B.



Figur 3.4-2. Glidepanelets motorsensor.

3.4.2 Normalkraftsensor

På baksiden av glidepanelet er det montert fire lastceller som måler trykket betongen utgjør på glidepanelet. De to nederste lastcellene er plassert 70 mm fra bunnen av betongbeholder og de to øverste lastcellene er plassert 650 mm fra bunnen. Sensorene er plassert parvis, med en senteravstand på 400 mm.

Sensorene er av typen HBM C2 og er utstyrt med hjul for å fordele trykket over hele glidepanelet. Ved støp registrerer sensorene initialtrykket betongen utgjør på panelet. Det er viktig at dette trykket holdes konstant gjennom hele forsøket, og må derfor justeres etter hvert som betongen herder og trykket mot panelet avtar.



Figur 3.4-3. Normalkraftsensor.

3.4.3 Porevanstrykksmåler

Trykket i betongens porevann er målt av en poretrykksmåler. Den er av typen HBM P8AP og kan måle opp til 10 bar trykk. Måleren består av et tynt rør som er koblet til et manometer. Røret er 100 mm langt, med en diameter på 3 mm. Systemet er avhengig av å være tomt for luft og blir derfor fylt med vann. Dette fordi lufta kan påvirke målingene. Måleren blir festet omtrent 90 mm fra glidepanelet, i en høyde på 200 mm fra bunnen av betongbeholderen.



Figur 3.4-4. Porevanstrykk måler.

3.4.4 Temperaturmåler

Betongtemperaturen ble målt med et termoelement av typen T Thermocouple (Kobber/konstantan) og ble dyppet ca. 100 mm ned i den ferske betongen.

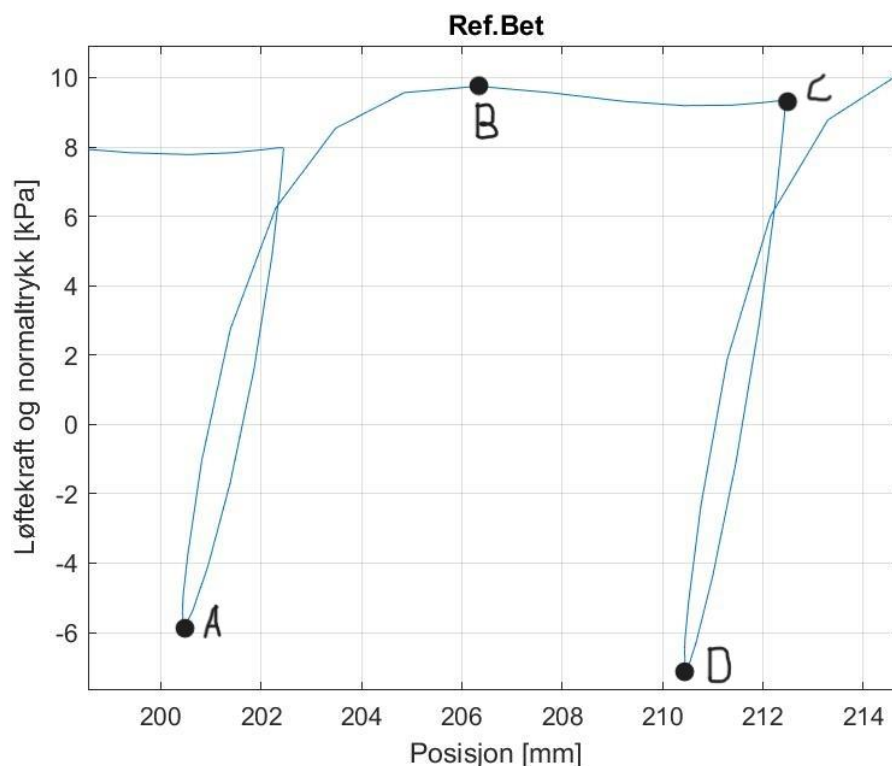
3.4.5 Programvare

Programvaren som ble benyttet var HBM Catman AP. Programmet registrerer data hvert 0,2 sekund og gir en visuell representasjon i sanntid. I tillegg blir alle de tidligere nevnte parameterne lagret i et MatLab-skript, som videre ble brukt til å danne relevante figurer og tabeller.

3.4.6 Figurforklarelse

Figurene som presenteres i kapittel 4.2.2 representerer glideriggens løftekraft og er her forklart mer i detalj. Figur 3.4-5 tilsvare Figur 4.2-2 i underkapittel 4.2.2. I dette tilfelle er det zoomet godt inn for å danne et bedre bilde av hvordan figuren skal tolkes.

Punkt A representerer punktet hvor glidepanelet starter løftet etter å ha stått stille i 15 minutter. Når glidepanelet heves, representerer strekningen fra punkt A til punkt C, den statiske løftekraften. Punkt B representerer den maksimale statiske løftekraften for dette spesifikke løftet. Fra og med punkt B slipper betongen glidepanelet. Punkt C representerer dermed glidefriksjonen. Når glidepanelet er hevet 12 mm, setter den seg 2 mm ned. Det er det strekningen fra punkt C til punkt D representerer. Etter at glidepanelet har satt seg, går det nye 15 minutter før prosessen skjer igjen. Da flytter punktene seg, slik at punkt A starter der punkt D står nå.



Figur 3.4-5. Forklarelse av løftekraft figur.

4 Resultater

I dette kapittelet presenteres resultatene for tester utført i laboratoriet. Først presenteres betongegenskapenes data i fersk og herdet tilstand (4.1), så presenteres de registrerte resultatene fra glideriggen (4.2).

4.1 Betongegenskaper

Kapittel 4.1 er delt opp i to underkapitler, der betongegenskapene i fersk og herdet fase er presentert i hver sin tabell.

4.1.1 Fersk fase

Resultatene i Tabell 4.1-1 oppsummerer betongegenskapene til den ferske betongen før støp.

Tabell 4.1-1. Betongegenskaper i fersk fase.

	Synkutbredelse [mm]	Luftinnhold [%]	Densitet [kg/m ³]
Ref.Bet	675	1,1	2405
Ref.Bet.6SF	670	0,8	2388
50FA	675	0,8	2338
70BS	700	1,2	2382
70BS.5SF	625	1,8	2363
35FA	675	1,2	2381
Ref.Bet.25°C	675	1,0	2399
50FA.25°C	650	1,0	2352
70BS.25°C	645	1,3	2368

4.1.2 Herdet fase

Resultatene i Tabell 4.1-2 oppsummerer de mekaniske egenskapene for alle prøveprogrammene etter 28 døgn herding i vannbad. For å kartlegge betongens herdeutvikling er trykkfastheten testet etter 7 og 28 døgn. Den presenterte trykkfastheten er gjennomsnittet av tre terninger. E-modul og spaltestrekkfasthet er gjennomsnittet av to sylinderprøver.

Tabell 4.1-2. Mekaniske egenskaper.

	Målt trykkfasthet [MPa]		E-modul [GPa]	Spaltestrekkfasthet 28 døgn	
	7 døgn	28 døgn	28 døgn ¹	F _m [kN]	f _{ct} [MPa]
Ref.Bet	49,8	67,7	12,3 ²	285,65 ³	4,05 ³
Ref.Bet.6SF	46,3	64,3	31,7	218,94	3,10
50FA	27,3	35,6	26,8	137,38	1,95
70BS	42,6	62,8	32,4	247,21	3,50
70BS.5SF	47,8	73,7	33,3	207,1	2,95
35FA	48,3	63,8	12,3 ²	-	-
Ref.Bet.25°C	52	69,3	12,2 ²	152,81	2,15
50FA.25°C	23,7 ⁴	35,6	23,2	118,61 ⁵	1,70 ⁵
70BS.25°C	47,6	71,3	14,6 ²	-	-

¹ De første fem blandingen herdet i en liggende sylinder. De resterende blandingene herdet stående, uten lokk.

² Urimelig resultat.

³ Ble testet etter 29 dager.

⁴ Ble testet etter seks dager, grunnet stengt laboratoriet.

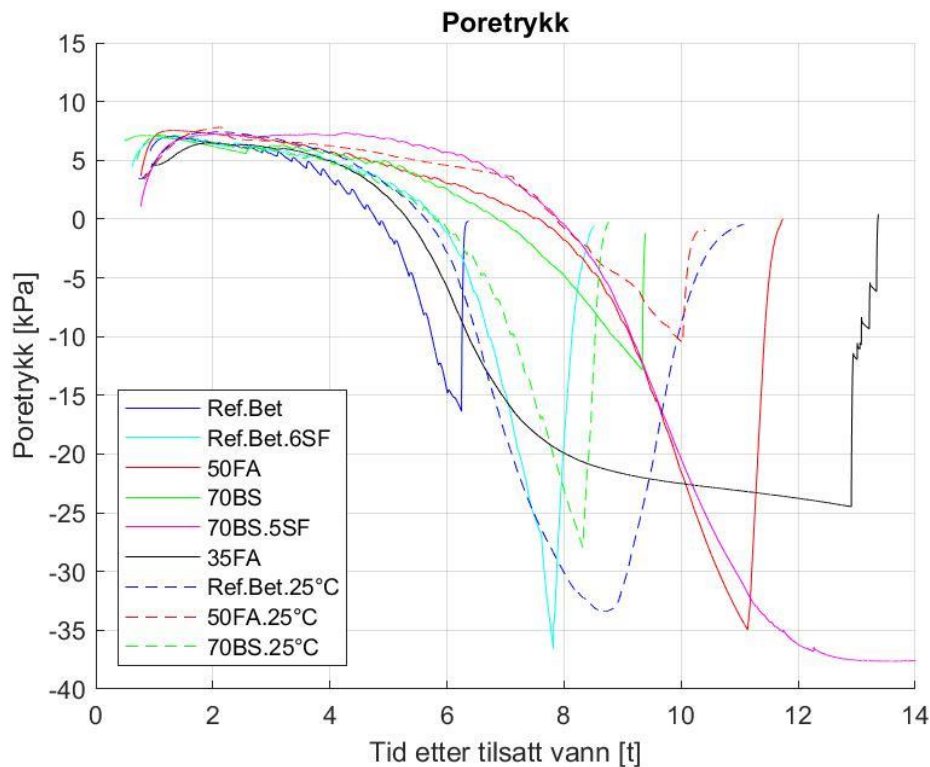
⁵ Resultater tilsvarende en sylinderprøve, ikke to.

4.2 Gliderigg

Dette kapitlet er delt opp i fem underkapitler, som tar opp de ulike parameterne glideriggen har registrert for hvert prøveprogram, i tillegg til å presentere resultatet av betongens overflate mot glidepanelet. Underkapittel 4.2.3 representerer effektivtrykket, som er funnet ved hjelp av Ligning 5.

4.2.1 Porevanntrykk

Poretrykket for samtlige prøveprogram er i Figur 4.2-1 presentert.

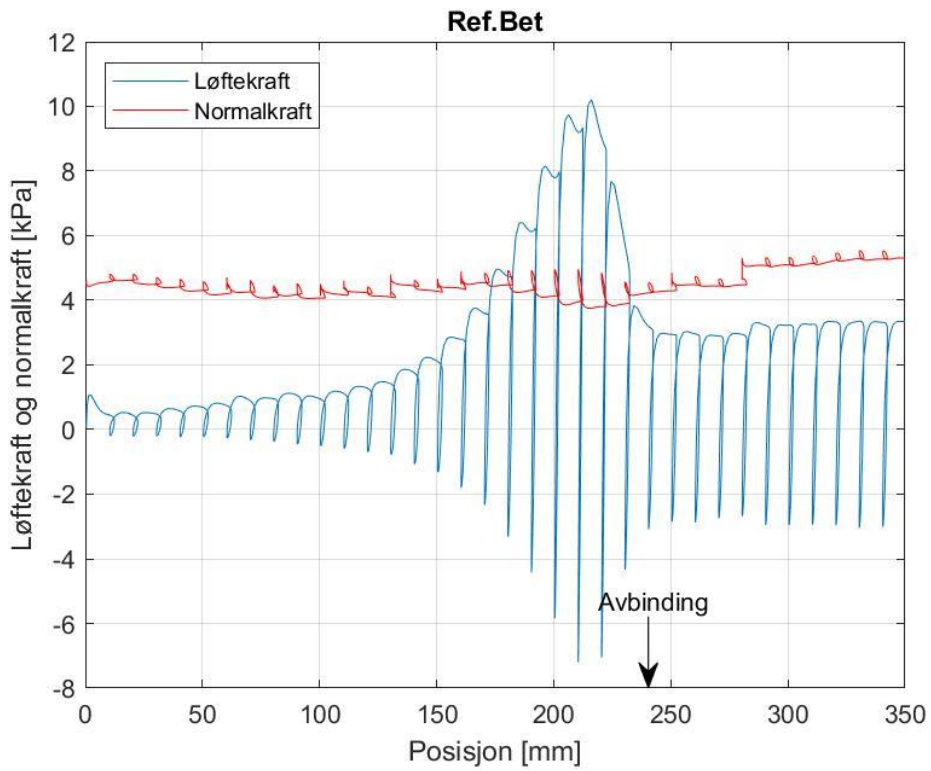


Figur 4.2-1. Porevanntrykk.

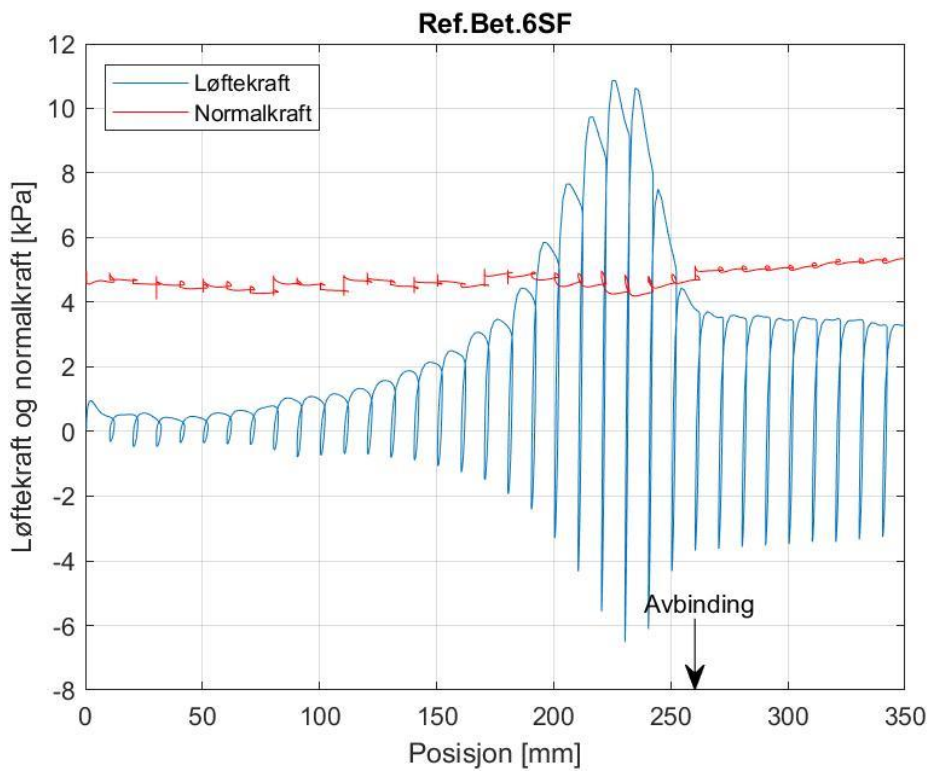
Figur 4.2-1 viser poretrykket for alle prøveprogrammene. Hvert prøveprogramms individuelle figur er vedlagt i Vedlegg F.

4.2.2 Glidepanelets løftkraft og normalkraft

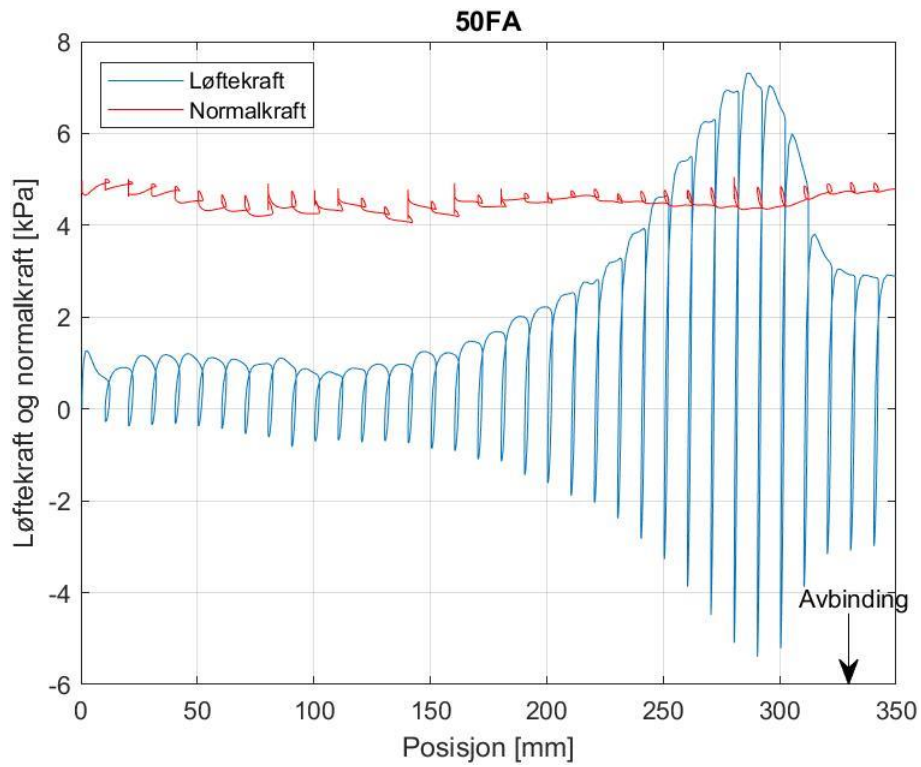
I dette underkapitlet er glidepanelets løftkraft og normalkraft presentert i Figur 4.2-2 til Figur 4.2-11. Glideriggenes programvare målte verdiene av løftkraft og normalkraft i kN og N. Som beskrevet i underkapittel 3.4.2, er normalkraften justert etter hvert som betongen herdet. Både løftkraften og normalkraften er dividert på kontaktflatens areal, tilsvarende 0,3 m². Glidepanelets vekt er trukket fra.



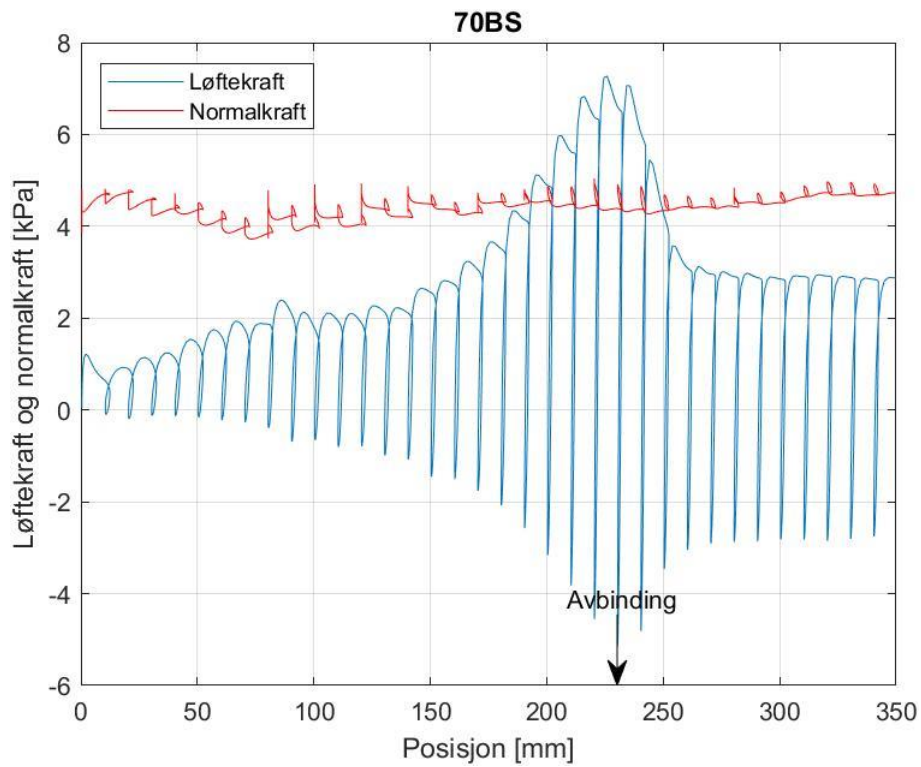
Figur 4.2-2. Løftekraft for Ref.Bet.



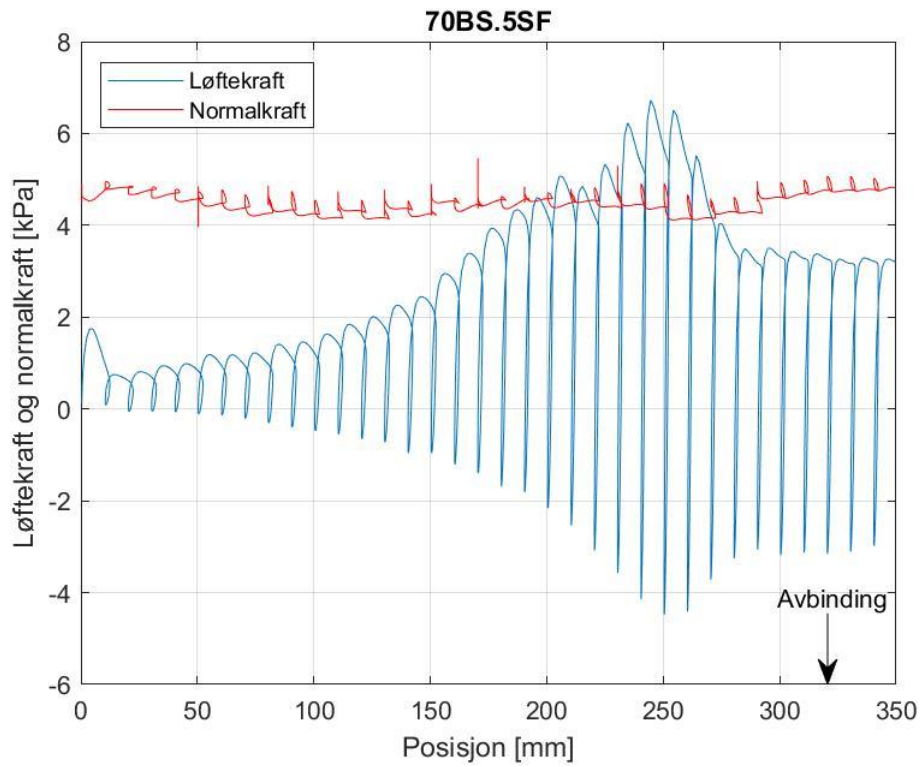
Figur 4.2-3. Løftekraft for Ref.Bet.6SF.



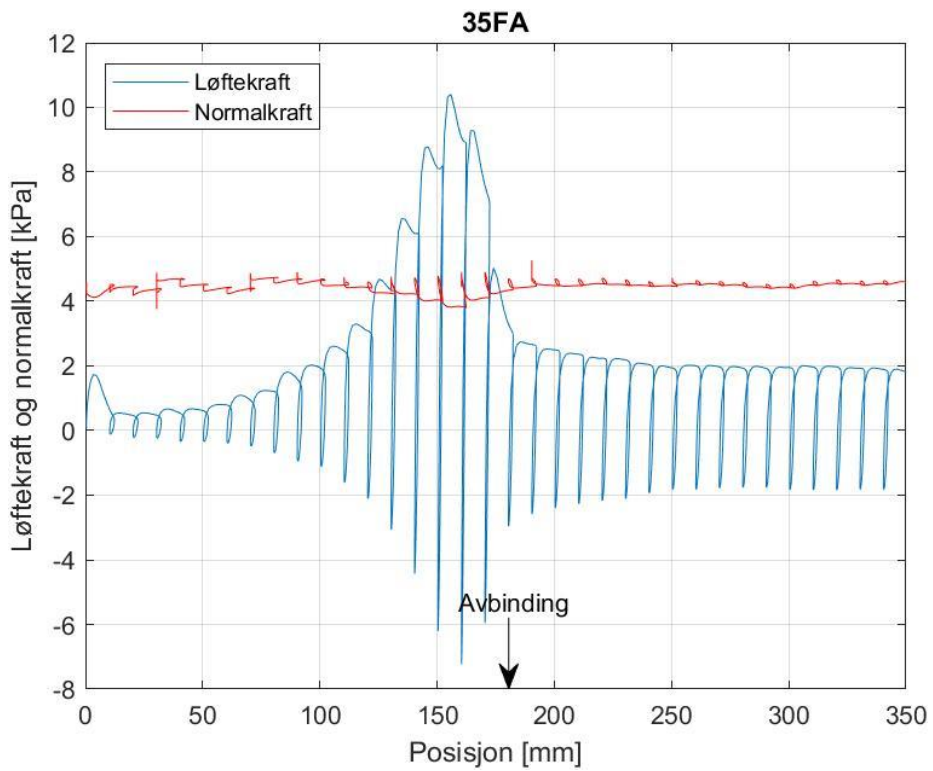
Figur 4.2-4. Løftekraft for 50FA.



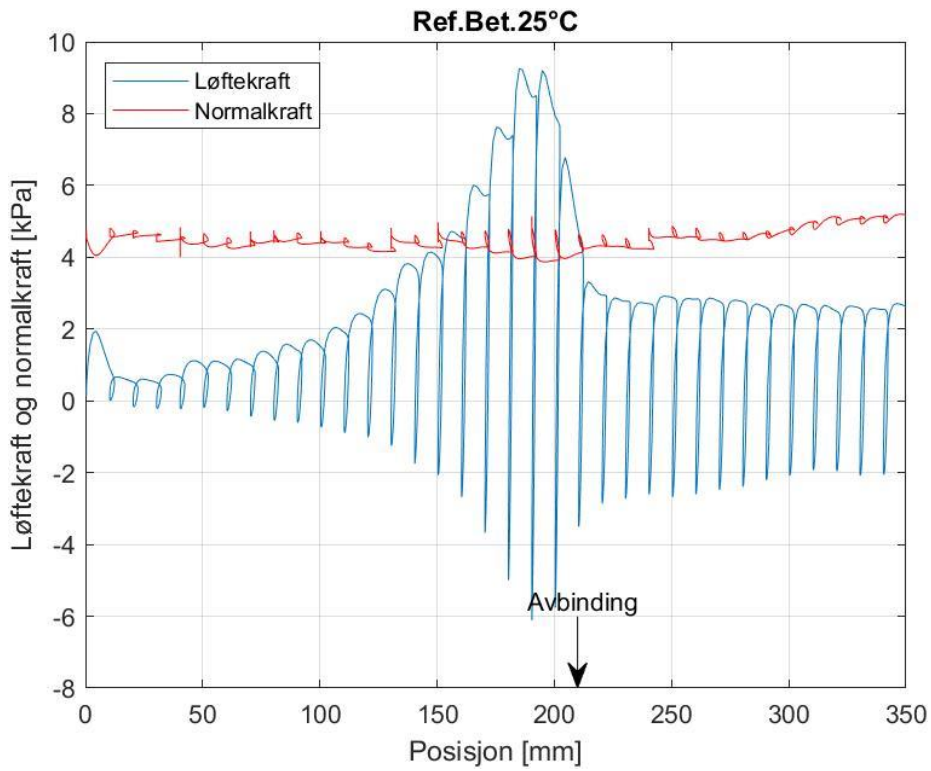
Figur 4.2-5. Løftekraft for 70BS.



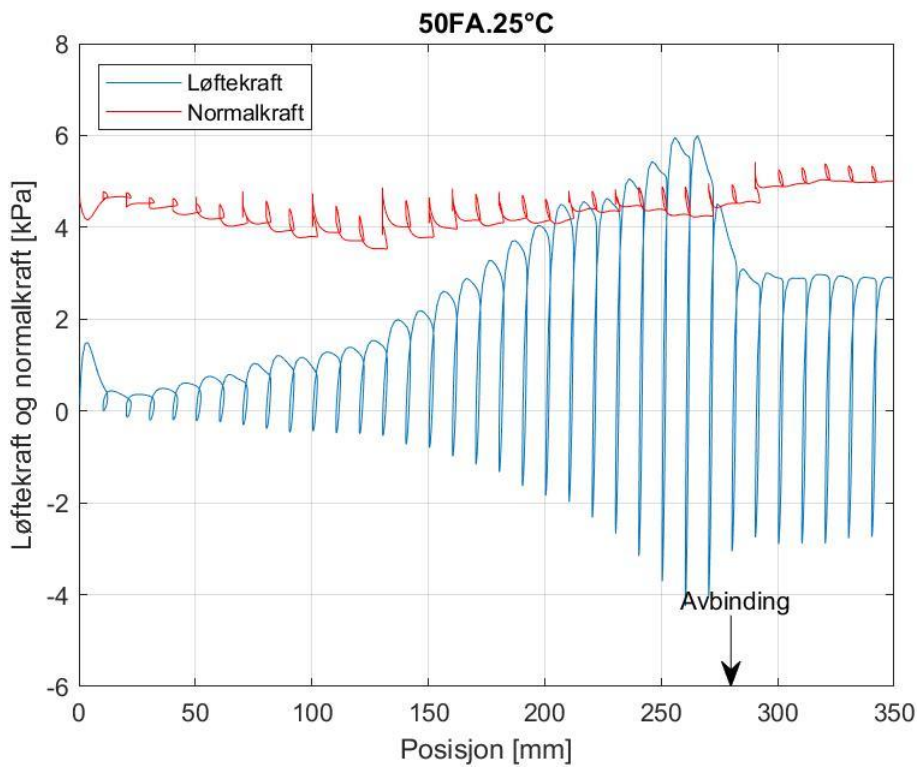
Figur 4.2-6. Løftekraft for 70BS.5SF.



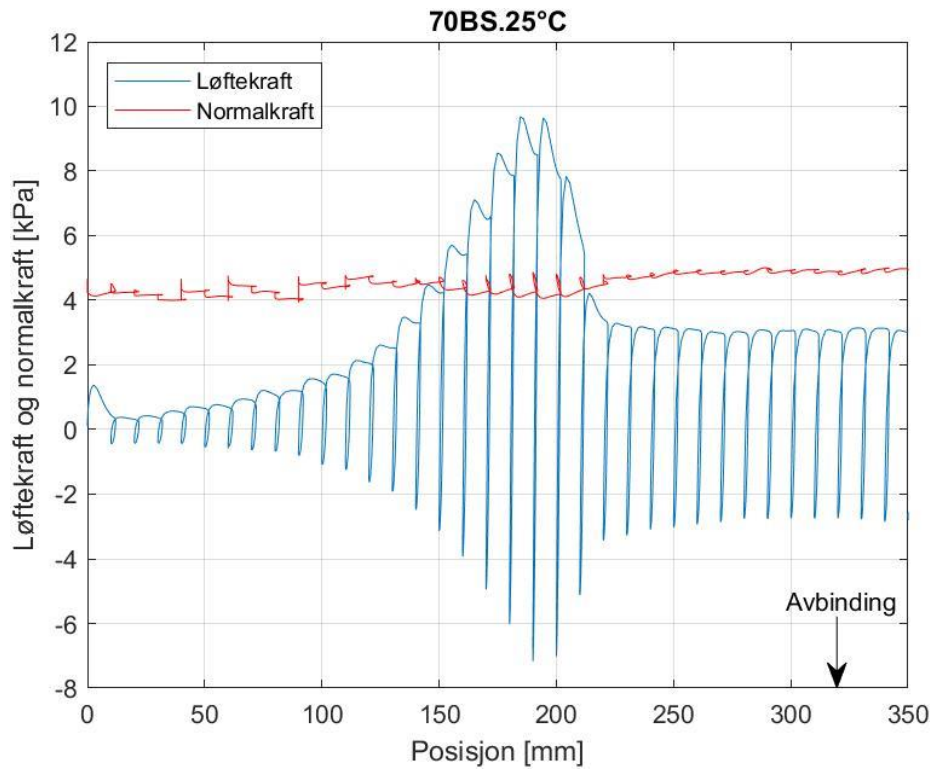
Figur 4.2-7. Løftekraft for 35FA.



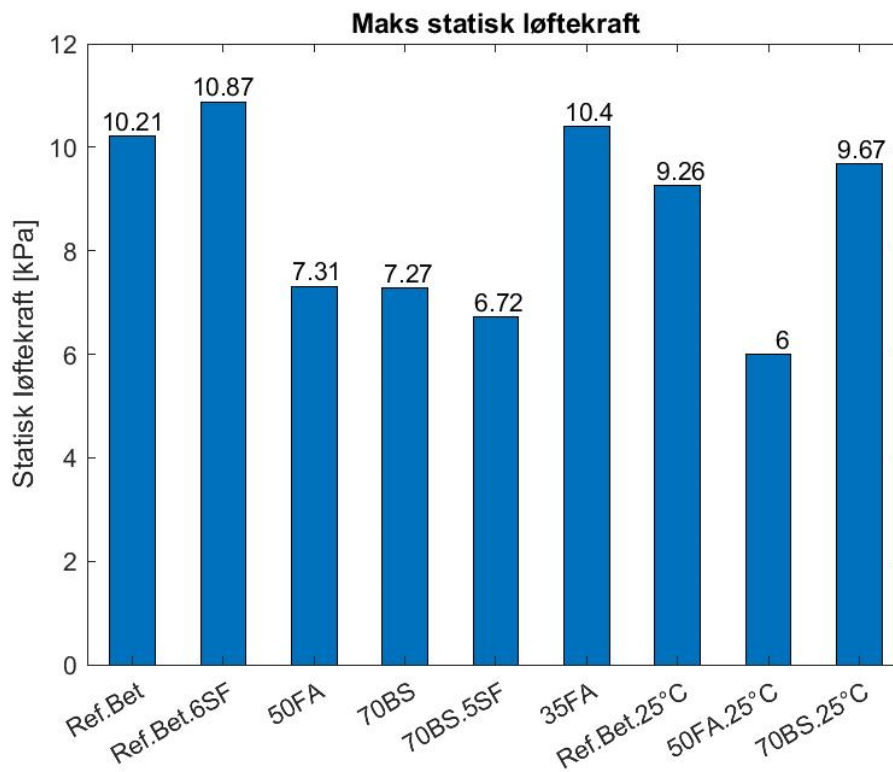
Figur 4.2-8. Løftekraft for Ref.Bet.25°C.



Figur 4.2-9. Løftekraft for 50FA.25°C.



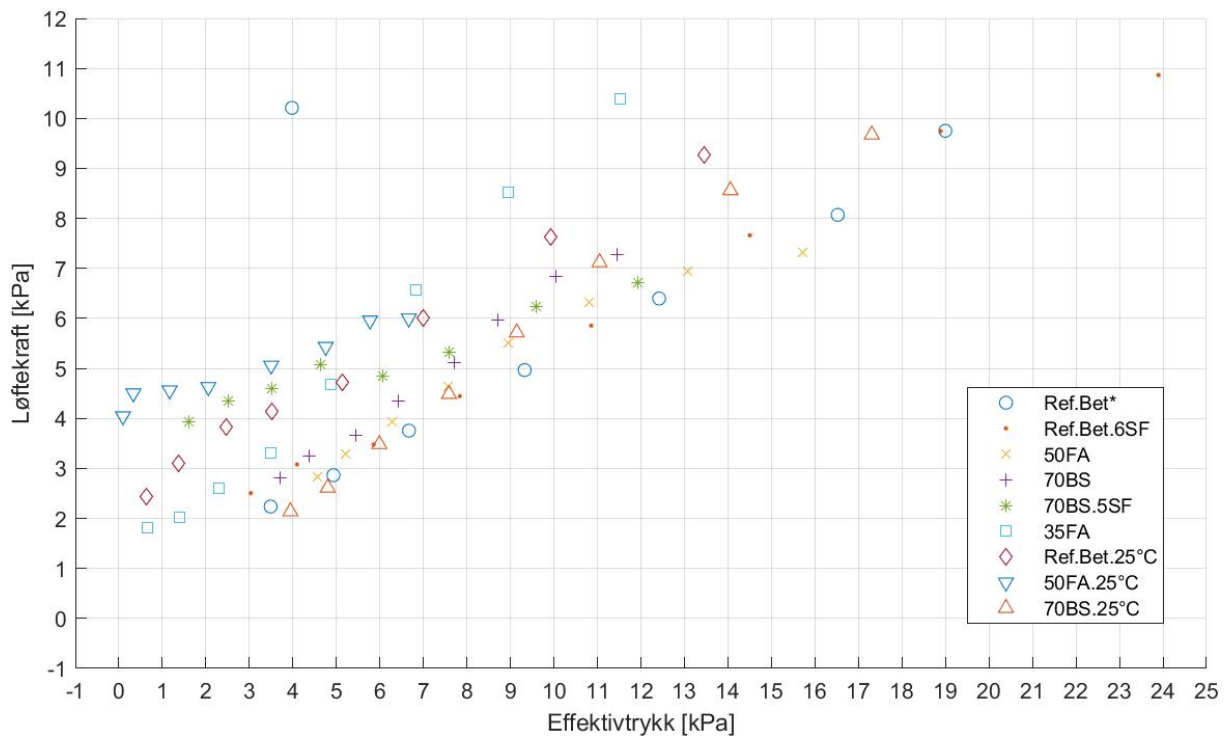
Figur 4.2-10. Løftekraft for 70BS.25°C.



Figur 4.2-11. Maks statisk løftekraft.

4.2.3 Effektivtrykk

Figur 4.2-12 presenterer effektivtrykket for alle prøveprogrammene for de siste åtte løftene frem til maks statisk løftekraft ble registrert for hver blanding.

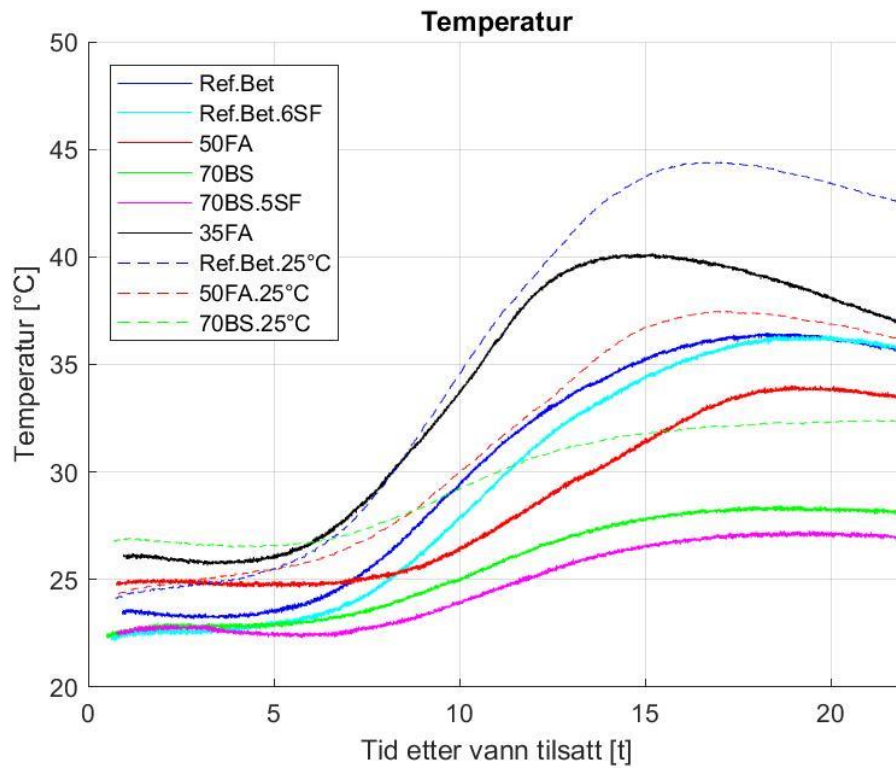


Figur 4.2-12. Effektivtrykk plottet mot løftekraft.

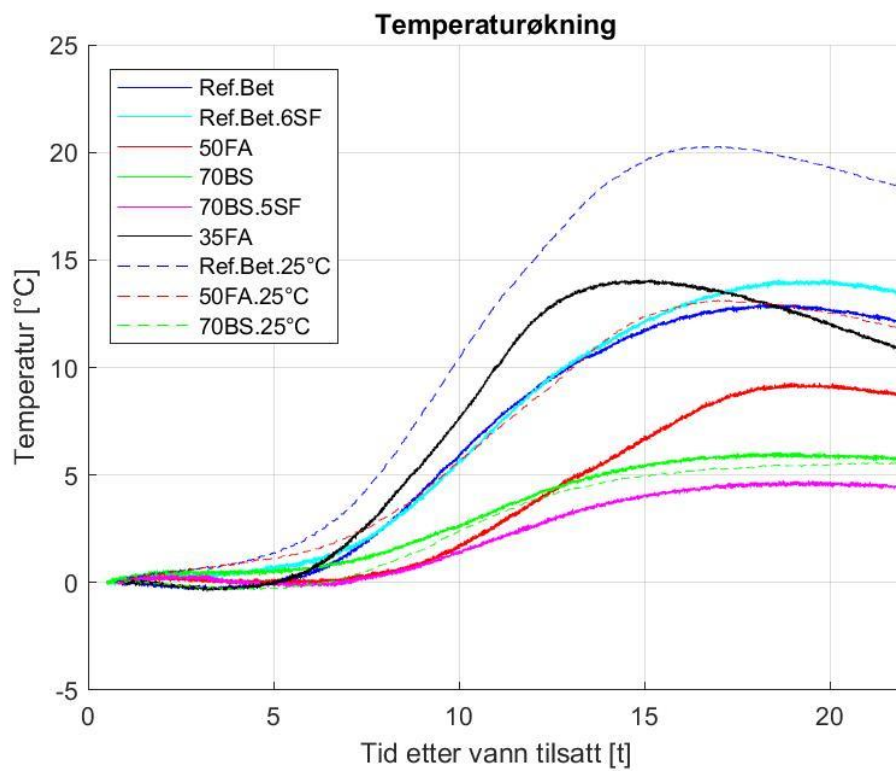
* Siste måling av effektivtrykk for Ref.Bet resulterte i en mye lavere verdi. Dette fordi betongen opplevde gjennombruddtrykk rett før maks statisk løftekraft, noe som resulterte i et poretrykk tilnærmet null.

4.2.4 Temperatur

Figur 4.2-13 presenterer alle prøveprogrammenes temperaturutvikling. Som nevnt i kapittel 3.1 er blanding 1-6 støpt ved romtemperatur (tilsvarende ca. 20 °C) og blanding 7-9 er støpt ved forhøyet omgivelsestemperatur på 25 °C. Videre presenterer Figur 4.2-14 betongens temperaturøkning, der alle prøveblandingene er satt til å starte ved 0 °C.



Figur 4.2-13. Temperaturutvikling.



Figur 4.2-14. Temperaturøkning.

4.2.5 Betongoverflaten

Figur 4.2-15 viser betongoverflaten mot glidepanelet for 70BS.5SF. Figuren representerer alle betongenes overflate mot panelet, da alle var relativt like.



Figur 4.2-15. Betongoverflaten for 70BS.5SF.

5 Diskusjon

I dette kapittelet vil resultatene bli analysert og tolket med mål om å besvare oppgavens problemstilling. Først analyseres betongegenskapenes resultater i fersk og herdet tilstand (5.1). Til slutt analyseres data fra glideriggen (5.2).

5.1 Betongegenskaper

Resultatene fra underkapittel 4.1 er i dette kapittelet analysert og tolket.

5.1.1 Synkutbredelsesmål

Alle prøveprogrammene var innenfor kravet om synkutbredelse for selvkomprimerte betong og holdt et relativt lik synkutbredelsesmål. Det fremkommer i NS-EN 206:2013 Tabell 6 under punkt 4.2.1 at selvkomprimerende betong må være innenfor 550-850 mm, der avstanden er fordelt på tre ulike klasser. I følge de europeiske retningslinjene om SKB er de fleste blandingene kategorisert som en SF2 SKB betong, som fungerer for de fleste betongapplikasjoner. Det er derimot to betonger som har synk lavere enn 650 mm, og er dermed kategorisert som en SF1 SKB betong. Denne type betong passer til uarmerte konstruksjoner, pumpestøp og betongseksjoner som er små nok til å hindre lang horisontal flyt [30, s. 12].

5.1.2 Luftinnhold

Alle prøveblandingene hadde et luftinnhold lavere enn antatt luftinnhold på to prosent. Fosså (2001) konkluderer med at et økende luftinnhold kan korrelere med et økende minimums porevanntrykk [2, s. 115], noe som stemmer overens for noen av de registrerte luftmålingene og poretrykket presentert i Figur 4.2.1. Det stemmer derimot ikke for Ref.Bet.6SF, 50FA, 70BS og Ref.Bet.25°C. Årsaken til dette kan muligens være de høye verdiene av tilsetningsmaterialer eller omgivelsestemperaturen betongen har herdet i.

5.1.3 Densitet

Densiteten til alle prøveprogrammene er forholdsvis like, selv med forskjellig tilsetningsmateriale og mengde. Alle lå rett i overkant/underkant av 2400 kg/m³ og samsvarer derfor med hva densiteten på uarmert betong skal være på. Det konkluderes derfor med gode densitetsresultater for samtlige prøver.

5.1.4 Trykkfasthet

Alle prøveblandingene, unntatt 50FA og 50FA.25°C, viser gode resultater av trykkfasthet, både etter 7 og 28 døgn herding. Tabell 5.1-1 oppsummerer betongens trykkfasthetsklasse basert på de resultatene gitt i kapittel 4.1.2. Trykkfasthetsklassen er basert på karakteristisk trykk, med en differanse på 8 MPa i forhold til målt trykkfasthet og er bestemt ut ifra Tabell NA.2 i NS-EN 206:2013+NA:2021.

Tabell 5.1-1. Trykkfasthetsklasse.

	Trykkfasthetsklasse
Ref.Bet	B45
Ref.Bet.6SF	B45
50FA	B20
70BS	B45
70BS.5SF	B45

35FA	B45
Ref.Bet.25°C	B45
50FA.25°C	B20
70BS.25°C	B45

Ikke overaskende har 50FA og 50FA.25°C en lav trykkfasthet. Selv om flygeaske bidrar til en tettere betong og dermed sterkere trykkfasthet, reagerer også flygeaske tregere enn portlandsement. Dette, sammen med den høye mengden FA og studien gjennomført av Lustosa og Magalhães, tilsier en betong som vil ha redusert styrke etter bare 28 døgn. Videre har nok valget med å bruke k-verdi lik én, hatt en innvirkning på hvorfor betongen oppnår så lav fasthet. Det hadde vært interessant å testet betongen enda en gang etter 56 døgn, eller til og med 180 døgn, for å se om den sene utviklingen har gitt resultater. Videre hadde det og vært ønskelig å teste alle betongenes tidlig fasthet, for å se om betongen hadde opparbeidet seg god nok struktur til å stå på egen hånd etter at glideforskalingen hadde blitt hevet.

Betongen basert på schwenk lavvarmesement har en mye høyere fasthet enn de reseptene som benytter flygeaske. Slagg er òg et produkt som reagerer tregere enn portlandsement, likevel oppnås en god trykkfasthetsklasse etter standardens krav om 28 døgn herding. Schwenk lavvarmesement med silika viser i tillegg en enda høyere trykkfasthet, i tillegg til å være enda mer miljøvennlig.

5.1.5 E-modul

Forventningene til E-modul etter etablert trykkfasthet var mellom 35 og 40 GPa. I henhold til gitt trykkfasthetsklasse presentert i Tabell 5.1-1. Trykkfasthetsklasse. er alle under kravet til hva E-modul skal være på etter 28 døgn herding, gitt i Tabell 3.1 i NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2021. Reseptene med forhøyet mengde FA, ga en relativt lav E-modul, men samstemmer med de resultatene Lustosa og Magalhães fant ut. Ref.Bet, 35FA, Ref.Bet.25°C og 70BS.25°C er feil. De registrerte verdiene er alt for lave til være reelle.

De lave verdiene på samtlige prøver kan skyldes for dårlig sylindere. De som herdet liggende endte opp med store sår langs den ene siden og kan ha hatt en innvirkning på testen. Trykkreftene sylindere ble utsatt for kan også ha vært for store. Likevel er det vanskelig å si om øvre- og nedre spenning burde ha vært lavere, da de var i henhold til de grensene satt i NS-EN 12390-13:2019.

5.1.6 Spaltestrekkfasthet

Med utgangspunkt i litteraturen og betongens strekkapasitet på 10% av trykkfastheten stiller Ref.Bet, Ref.Bet.6SF og 70BS seg positive med tanke på strekkapasitet. Likevel er de noe lavere enn hva fasthetsklassen setter i Tabell 3.1 i NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2021. Det kommer frem i en rapport fra vegvesenet at gjennomsnittet av spaltestrekkfastheten er ca. 6% av trykkfastheten for terninger [31, s. 39], noe som stemmer mer overens med dataene presentert i Tabell 4.1-1. I forhold til fasthetsklassen til 50FA og 50FA.25°C burde spaltestrekken ligge på omtrent 2,2 MPa. Betongens trege herding og de lave resultatene for trykkfasthet og E-modul kan være årsaken til hvorfor også spaltestrekken har lav verdi.

De resterende prøveblandingene testet relativt lavt i forhold til gitt fasthetsklasse. Sylinderne som ble testet for spaltestrekk ble først benyttet for E-modul, der noen av sylinderne fikk sår langs kantene som følge av dette. Videre ble det observert en vinkling på presshodet, som resulterte i at noen av prøvene ikke ble tilført et vinkelrett trykk, noe som igjen kan ha hatt en innvirkning på spaltestrekken. 35FA og 70BS.25°C ble ikke testet for spaltestrekkfasthet, grunnet defekt laboratorieutstyr.

5.2 Gliderigg

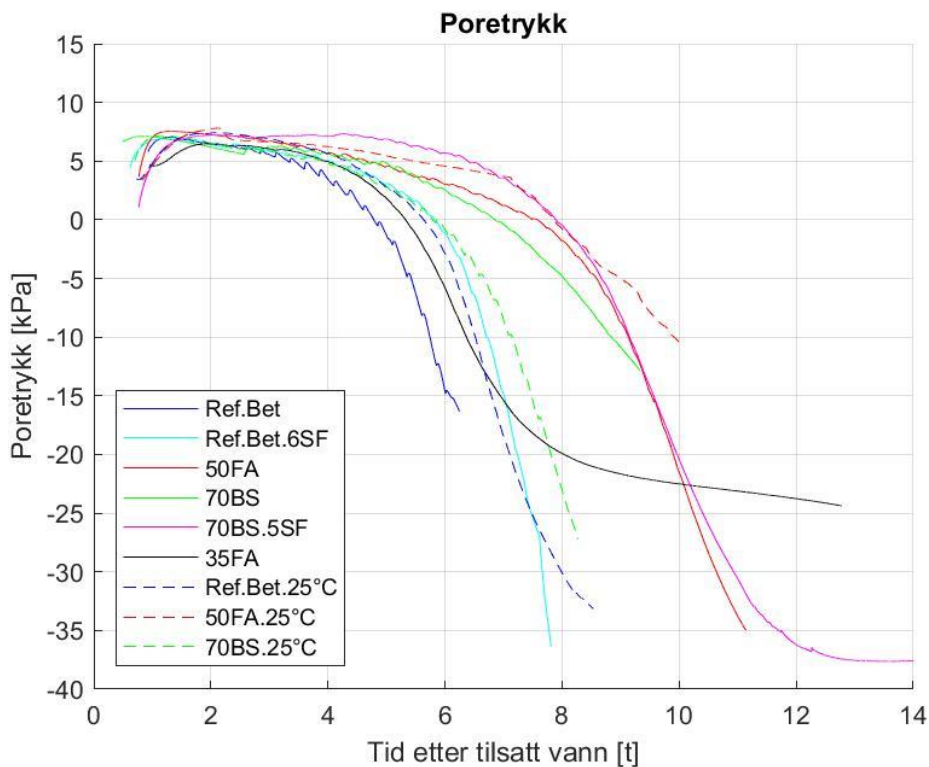
I dette kapitlet blir poretrykket analysert (5.2.1), for så å analysere glideriggens løftekraft (5.2.2). Videre diskuteres det rundt betongens effektivtrykk (5.2.3) og betongenes temperaturendring (5.2.4). Til slutt diskuteres det kort rundt betongens overflate langs glidepanelet (5.2.5).

5.2.1 Poretrykk

Etter blanding oppstår det et positivt trykk som korresponderer omtrent med det hydrostatiske trykket i betongen. Gjennom dens plastiske fase minker poretrykket, men i overgangsfasen fra plastisk til elastisk oppstår det et negativt trykk som avtar raskere. Denne overgangsfasen skjer for alle prøveblandingene, men tiden før gjennombruddtrykket varierer.

Av litteraturen er det å forvente et gjennombruddtrykk når betongen har oppnådd selvbærende struktur. Alle blandingene, unntatt 70BS.5SF oppnår et gjennombruddtrykk. Videre er det vanskelig å avgjøre om 35FA og 50FA.25°C oppnår riktig gjennombruddtrykk, da det negative trykket til 35FA avtar over en periode på nesten fire timer før gjennombruddtrykket skjer. 50FA.25°C opplever ikke den jevne nedstigningen som den egentlig skal. I stedet avtar den gradvis i ulike tidsintervaller. Når det kommer til 70BS.5SF er det vanskelig å avgjøre hvorfor den ikke oppnår et gjennombruddtrykk. Betongens mengde av finstoff, sammen med et høyt luftinnhold, kan være årsaken. Videre viser prøveprogrammene Ref.Bet, Ref.Bet.6SF, 50FA, 70BS, Ref.Bet.25°C og 70BS.25°C en god poretrykkutvikling og samstemmer med forventningene litteraturen har lagt grunnlag for.

Ref.Bet er den betongen som oppnår selvbærende struktur først. Drøye to timer senere skjer det samme for Ref.Bet.6SF, Ref.Bet.25°C og 70BS.25°C. Etter omtrent 9 og 11 timer følger 70BS og 50FA. Det er overaskende at Ref.Bet.25°C stiver av senere enn Ref.Bet, da både kjerne- og omgivelsestemperaturen er høyere gjennom forsøket. Det er dog noe mindre luftinnhold i Ref.Bet.25°C, som kan ha vært virkningen av lavere negativt poretrykk og lenger avbinding.



Figur 5.2-1. Porevanntrykk rett før gjennombruddtrykk [samme figur som Figur 4.2-1].

5.2.2 Løftekraft og normalkraft

Den største statiske løftekraften av alle prøveprogrammene er for Ref.Bet.6SF. Det er altså denne betongen glidepanelen bruker mest energi på å heve glidepanelet for hvert løft. De andre prøveprogrammets maksverdi er noe lavere, men Ref.Bet og 35FA følger tett på. Det fremkommer at de prøveprogrammene med størst andel tilsetningsmateriale er de med lavest løftekraft, der 50FA.25°C har den laveste registrerte på 6 kPa.

Det var forventet at de prøveprogrammene som var testet ved 25 °C burde ha hatt en høyere løftekraft grunnet høyere temperatur. Likevel testet både Ref.Bet.25°C og 50FA.25°C lavere løftekraft enn Ref.Bet og 50FA. Det er vanskelig å si hvorfor, og om dette er et enkelttilfelle, og er noe som burde sjekkes i videre forskning. Videre testet 70BS.25°C mye høyere enn 70BS, noe som stemmer mer med forventningene.

Tabell 5.2-1. Løftekraftens stigningsrate.

	Stigningsrate [kPa/min]
Ref.Bet	0,085
Ref.Bet.6SF	0,110
50FA	0,043
70BS	0,048
70BS.5SF	0,042
35FA	0,130
Ref.Bet.25°C	0,100
50FA.25°C	0,021
70BS.25°C	0,088

Tabell 5.2-1 representerer løftekraftens stigningsrate og gir en indikasjon på hvor hurtig løftekraften stiger i kPa/min på det tidspunktet det observeres en betraktelig økning. Stigningsraten stemmer derfor ikke med de første løftene, hvor den statiske løftekraften er tilnærmet lik. 35FA og Ref.Bet.6SF er de med høyest stigningsrate. Det er overaskende at 35FA er så høy, da grovheten til FA burde ha gitt færre menisker og dermed mindre statisk løftekraft, slik det fremkommer av stigningsraten til 50FA. Ref.Bet.6SF derimot er ikke overaskende at er så høy, da silikas finhet danner flere og mindre menisker. Dermed øker friksjonen med mengde silika.

Tabell 5.2-2. Tidspunkt og posisjon for avbinding.

	Tidspunkt for avbinding [t]	Posisjon for avbinding [mm]
Ref.Bet	6	240
Ref.Bet.6SF	7,5	260
50FA	9,6	330
70BS	8	230
70BS.5SF	10	320
35FA	5,9	180
Ref.Bet.25°C	6,3	210
50FA.25°C	8	280
70BS.25°C	8,2	320

Ved å finne tidspunktet temperaturen i betongen har økt med 2 °C, er det bestemt hvor betongen begynner å binde av. Tabell 5.2-2 presenterer glidepanelets tidspunkt og posisjon for kalkulert avbinding. Avbinding starter etter maks statisk løftekraft for samtlige betonger. Dette gir mening, da det forventes at glidekraften forblir relativt lik når betongen ikke lenger blir med glidepanelet ved heving, noe dataene for løftekraft indikerer etter dette tidspunktet. Med andre ord kan avbindingstidspunktet forbindes med tidspunktet for gjennombruddstrykk, da de begge i teorien skal indikere en viss oppnådd fasthet.

Den registrerte normalkraften i betongen holder en tilnærmet konstant kraft grunnet jevnlike justeringer etter hvert som betongen herdet. Samtlige prøveprogram holdt derfor en normalkraft mellom 4,0 og 5,0 kPa, som tilsvarte initialkraften betongen utgjorde på glidepanelet ved støp.

5.2.3 Effektivtrykk

Effektivtrykket til samtlige betonger øker lineært med løftebelastningen og stemmer overens med gitt hypotese i kapittel 2.4.6. Det er i all hovedsak porevanstrykket som er ansvarlig for variasjonen i effektivtrykket gjennom plastisk fase og i overgangsperioden, noe som igjen betyr at variasjonen i porevanstrykket er det som kontrollerer løftekraften. Poretrykket, og dermed løftekraften, er lav i starten, men øker betraktelig etter hvert som kjemisk svinn oppstår ved hydratiseringen.

5.2.4 Temperatur

Temperaturutviklingen til samtlige betonger starter etter drøye fem timer og akselerer deretter ulikt avhengig av betongsammensetningen. I underkapittel 4.2.4 ble det presentert to figurer; en som tilsvarte temperaturen i betongen, der starttemperaturen lå

mellom 22 °C og 27 °C og en som representerte økningen i temperatur der alle betongene var satt til å ha samme utgangspunkt på 0 °C. Det interessante med sistnevnte er resultatene som dermed fremkommer, deriblant den minimale forskjellen på 70BS og 70BS.25°C. Ikke overaskende er betongen som oppnår høyest temperatur Ref.Bet.25°C, da denne betongen har høyest andel klinkerinnhold, i tillegg til å herde ved forhøyet omgivelsestemperatur. Ved sammenligning av Ref.Bet.25°C og Ref.Bet er det tydelig at de har samme temperaturforløp, der forskjellen ligger i det faktum at den ene herder ved høyere omgivelsestemperatur. Slaggbetongene er de prøveblandingene som reagerer tregest og man ser liten forskjell i temperatur mellom 70BS, 70BS.5SF og 70BS.25°C.

Det at slaggbetongene ikke øker med mer enn 4-6 °C forklarer deres lave hydratiseringsrate og hvorfor det tar så lang tid før betongen oppnår et gjennombruddtrykk. Den lange avbindingstiden resulterer også mest sannsynlig i en for lav tidlig styrkeutvikling. Noe som igjen kan være problematisk ved glidestøp, da det kan føre til redusert glidehastighet og lenger produksjonstid.

Temperaturutviklingen til 35FA og 50FA er relativt lik, men ikke overaskende fremkommer det en høyere temperatur for 35FA enn for 50FA. Da 50FA inneholder en høyere andel flygeaske, reagerer den tregere, noe som igjen gir grunnlaget for den lavere temperaturutviklingen. 50FA og 50FA.25°C har lik temperaturforløp, der starttemperaturen og det faktum at omgivelsestemperaturen er høyere for den ene er det som gjør at 50FA.25°C oppnår høyere temperatur.

Ingen av de første seks betongene starter på antatt romtemperatur på 20 °C. Hvorfor dette er tilfelle er vanskelig å si, men det kan være betongen har hatt noe temperaturøkning mellom støp og det tidspunktet programvaren ble startet. Videre er en potensiell feilkilde romtemperaturen rundt glideriggen og hvilken temperatur resten av laboratoriet holdt ved de aktuelle forsøkene.

5.2.5 Betongoverflaten

Alle overflatene var tilnærmet lik, og viste lite til ingen skader. Alle hadde en glatt overflate, med relativ lik mengde poredannelse. Figur 4.2-15 representerer derfor overflaten til samtlige betonger, selv om figuren er et resultat av 70BS.5SF. Av figuren virker det som det har oppstått noen skader fra bunn til og med de første centimeterne, men dette skyldes konsekvensen av å bruke teip mellom betongbeholderens gulv og panelet, som beskrevet i kapittel 3.2.

6 Konklusjon

Denne studien har i stor grad klart å etablere et godt grunnlag for valg av miljøvennlige alternativer til betong som kan bidra til å optimalisere miljøperspektivet i fremtidige byggeprosjekter. Basert på en gjennomgang av eksisterende litteratur og verdien i laboratoriearbeid har studien lyktes i å besvare den definerte problemstillingen: «Hvilke miljøvennlige betongoppskrifter egner seg til glidestøperasjoner?»

Studien har gjennom et omfattende laboratoriearbeid testet ni ulike betonger hvor ulike mengder sementklinker er byttet ut med andre tilsetningsmaterialer. Dette har vist seg å gi forskjellige verdier i både trykkfasthet, E-modul, spaltestrekk, poretrykk, løftekraft og temperaturutvikling. Denne variasjonen henger øyensynlig sammen med faktorer som avbindingstidspunkt, løftefrekvens, riktig glidehastighet, friksjonsmålinger og effektivtrykk. Forskjellene skyldes tilsynelatende hvilket tilsetningsmateriale som er benyttet som erstatning til sementklinkeren, sammen med benyttet mengde.

Resultater i tilknytning til betongegenskapene viser en relativ lik synkutbredelse og densitet i fersk fase for samtlige prøveprogram. Alle oppnår en trykkfasthetsklasse B45, med unntak av 50FA og 50FA.25°C. Ved sammenligning med referansebetongene og slaggbetongene viser resultatene en relativt lik målt trykkfasthet. Betongene med 50% FA oppnår en lavere fasthetsklasse etter 28 dogn herding, men det forventes at den trege avbindingen flygeaske gir vil gi bedre resultater etter lenger herdetid.

De registrerte resultatene fra glideriggens programvare er lik den forventede utviklingen av porevanntrykk. Alle betongene, unntatt 70BS.5SF, oppnådde gjennombruddtrykk og hadde en god poretrykksutvikling. Videre oppleves det et sprik i maks statisk løftekraft, der referansebetongene oppnår høyest verdi. 50FA og 70BS har en tilnærmet lik maks løftekraft, og holder seg litt under gjennomsnittet. Videre ble det registrert store temperaturforskjeller blant blandingene, der temperaturøkningen til slaggbetongene var svært lav. Noe som videre korresponderer med den lave hydratiseringen og tiden frem til gjennombruddtrykk. Videre oppnår referansebetongene en høyere temperaturutvikling, noe som samsvarer med klinkerinnholdet i disse blandingene.

Studien har bidratt til forståelsen av hvordan glidestøp opereres og kommet frem til at alle prøveprogrammene i denne oppgaven egner seg til glidestøperasjoner. Likevel er det noen som skiller seg mer ut enn andre, og med miljøfaktoren i bakhodet, burde videre forskning se videre på betongene produsert med schwenk lavvarmesement, samt betong med 35% flygeaske som tilsetningsmateriale. Begge disse betongene har godkjente mengder tilsetningsmateriale i NS-EN 206:2013+NA:2021 og vil derfor heller ikke gi ekstra dokumentasjonskrav, slik 50FA gjør. Likevel er det usikkert om disse blandingene egner seg, da tidlig fasthet ikke er testet. Begge blandingene oppnådde et sent gjennombruddtrykk, noe som igjen kan indikere en forsinket avbinding. Denne forsinkelsen kan videre gå ut over gjennomføringsevnen, som igjen kan påvirke den økonomiske vurderingen.

7 Forslag til videre arbeid

Denne oppgaven har forsøkt å finne miljøvennlige betongoppskrifter som egner seg til glidestøperasjoner, og selv om oppgaven har kommet frem til nettopp dette, har det dukket opp andre interessante problemstillinger, som fremtidige studier bør undersøke.

Videre forskning burde vurdere å bygge videre på denne oppgaven, ved å teste enten 70BS eller 35FA gjentatte ganger for å se om resultatene ikke er et enkelttilfelle. En av svakhetene med denne studien har vært at ingen betongoppskrifter er testet mer enn en gang. Det er derfor vanskelig å avgjøre om resultatene er gjenproduserbare. Videre burde testing av tidlig fasthet tas med som et supplement til oppgaven, for å kunne konkludere om betongene faktisk lar seg gjøre til glidestøperasjoner.

En annen potensiell problemstilling er å gjøre forsøk som skiller betongens omgivelsestemperatur mer tydelig. I tillegg vurdere å simulere ulik relativ fuktighet for å se hvordan betongen og glidestøpen reagerer. Denne oppgaven har fokusert på glidestøp ved romtemperatur, som tilsvarende 20-22 °C og forhøyet omgivelsestemperatur på 25 °C. Skillet i temperatur er liten, og videre forskning burde vurdere å kjøre noen på for eksempel 15 °C og 25 °C for å tydeliggjøre skillet i temperatur mer, og dermed kanskje se tydeligere forskjeller.

8 Referanseliste

- [1] M. Maage, *Betong: Regelverk, teknologi og utførelse*, 1. utg. Oslo: Byggenæringens forl., 2015.
- [2] K. T. Fosså, "Slipforming of Vertical Concrete Structures - Friction between concrete and slipform panel", Doktorgradsavhandling, Institutt for Konstruksjonsteknikk, NTNU, Trondheim, 125184, 2001.
- [3] R. Kompen, "Bruk av glideforskaling til brusøyler og -tårn", Statens vegvesen, Januar 1995, [Publikasjon nr. 77], <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/190546/Publikasjon%2077%20Glideforskaling.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [4] K. T. Fosså *et al.*, "Veiledning for prosjektering og utførelse av konstruksjoner utstøpt med glideforskaling", Norsk betongforening 2017, [Publikasjon nr. 25], <https://betong.net/nettbutikk/nb-publikasjoner/25-veiledning-prosjektering-utførelse-konstruksjoner-utstopt-glideforskaling-1999/>.
- [5] O. H. Krokstrand, Ø. Steen og M. M. Wiggen, *Betongoverflater*. Oslo: Gyldendal akademisk, 2011.
- [6] S. I. Sørensen, *Betongkonstruksjoner*, 1. utg. Trondheim: Tapir Akademisk Forlag, 2010.
- [7] A. M. Neville, *Properties of concrete*, 4. utg. Harlow: Longman, 1995.
- [8] S. Smeplass, T. Fredvik, L. Busterud, Ø. Sæther og O. G. Østrem, "Lavkarbonbetong", Norsk betongforening 2020, [Publikasjon nr. 37], <https://betong.net/nettbutikk/nb-publikasjoner/37-pdf-lavkarbonbetong-2015-gratis-nedlasting-klikk-les/>.
- [9] HeidelbergCement Group. 2021. *Norway* [Online]. Hentet fra: <https://www.heidelbergcement.com/en/norway>.
- [10] K. T. Fosså, "Summery 2021," 10.11.2021, 2021.
- [11] Norcem. u.å. *Fakta om Flygeaske* [Online DOCX]. Hentet fra: <https://www.norcem.no/no/FlyAsh>. Lastet ned: 01.03.2022.
- [12] P. R. Lustosa og M. S. Magalhães, "Influence of fly ash on the compressive strength and young's modulus of concrete", *AJCE*, vol. 37, nr. 2, s. 107-111, Juni 2019.
- [13] Norcem. u.å. *Produktdatablad, Norcem Anleggsement FA* [Online PDF]. Hentet fra: <https://www.norcem.no/no/AnleggFA>. Lastet ned: 01.03.2022.
- [14] A. M. Neville, *Properties of concrete*, 5. utg. Harlow: Pearson, 2011.
- [15] M. Ollendorff, "Powerhouse - innebygget energi og klimagassregnskap for bæresystemene", Mastergradsavhandling, Institutt for konstruksjonsteknikk, NTNU, Trondheim, 567012, 2012.
- [16] *Betong - spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar, NS-EN 206:2013+A2:2021+NA:2021*, 2021.
- [17] S. Jacobsen *et al.*, *Concrete technology*. Trondheim: NTNU, 2016.
- [18] Norcem. u.å. *Herdeteknologi* [Online]. Hentet fra: https://www.norcem.no/sites/default/files/assets/document/bb/11/herdeteknologi_lav.pdf. Lastet ned: 06.04.2022.
- [19] A. Hasselqvist og E. Gegerfelt, "Concrete in vertical slipforms", Mastergradsavhandling, Department of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2021.
- [20] A. K. Kvellheim og K. Bramslev. 2020. *Betong er en del av klimaløsningen* [Online]. Hentet fra: <https://www.tu.no/artikler/betong-er-en-del-av-klimalosningen/489468>. Lastet ned: 25.03.2022.
- [21] K. d. Weerdt, "Geopolymers - state of the art", SINTEF Building and Infrastructure, Oslo, Rapport nr. 37, 2011, [Online rapport], www.sintefbok.no/book/index/1018/geopolymers_state_of_the_art.
- [22] F. A. Hermansen, "Betong med høy flyveaskedosering", Mastergradsavhandling, Institutt for Konstruksjonsteknikk, NTNU, Trondheim, 18235, 2018.

- [23] A. R. Elgen og J. H. A. Vogt, "Betong med redusert klimagassutslipp til gullhaug torg 2A-prosjektet", Mastergradsavhandling, Institutt for Konstruksjonsteknikk, NTNU, Trondheim, 18691, 2018.
- [24] E. Århaug, T. J. Dymbe og E. H. Paulsen, "Glidestøping med miljøbetong", Bacheloroppgave, Det Teknisk-Naturvitenskapelige fakultet, UiS, Stavanger, 2021.
- [25] T. A. Hammer, "The use of pore water pressure to follow the evolution from fresh to hardened concrete", 2006.
- [26] A. Radocea, "A study on the mechanism of plastic shrinkage of cement-based materials", Doktorgradsavhandling, Division of Building Materials, Chalmers University of Technology, Gøteborg, 1992.
- [27] F. H. Wittmann, "On the action of capillary pressure in fresh concrete", *Cement and Concrete Research*, vol. 6., nr. 1, s. 49-56, 1976.
- [28] Teknisk ukeblad. 2001. *Glidestøp av betongkonstruksjoner* [Online]. Hentet fra: <https://www.tu.no/artikler/glidestop-av-betongkonstruksjoner/272654>. Lastet ned: 26.03.2022.
- [29] S. B. Bjerkestrand, "Glidestøp - løftfrekvensens effekt på friksjon", Mastergradsavhandling, Det Teknisk-Naturvitenskapelige fakultet, UiS, Stavanger, 2017.
- [30] *The european guidelines for self compacting concrete. Specification, production and use*, 2005.
- [31] B. Pedersen, "Effekt av tilslag på betongens mekaniske egenskaper: Trykkfasthet, E-modul og spaltestrekkfasthet", Statens Vegvesen, Januar 2019, [Rapport nr. 181], <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/2580688?show=full>.

Vedlegg

Vedlegg A. Prøveprogram

Prøveprogram for Ref.Bet

Prøveprogram for Ref.Bet.6SF

Prøveprogram for 50FA

Prøveprogram for 70BS

Prøveprogram for 70BS.5SF

Prøveprogram for 35FA

Prøveprogram for Ref.Bet.25°C

Prøveprogram for 50FA.25°C

Prøveprogram for 70BS.25°C

Ref.Bet

Mix proportion	SKANSKA
-----------------------	----------------

Project	Ref.Bet
Batch no	1
Quality requirements	M40 Matrix 350 liter

Batch volume:	115 liter
Date:	
Time for water addition:	
Responsible:	
Executed by:	

Materials	Mix kg/m ³	Batch kg	Moisture* %	Corr. kg	Weight** kg	
Anlegg FA	445,7	51,252			51,252	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000	
Slagg	0,0	0,000			0,000	
Free water	178,3	20,501		-2,724	17,777	19,303
Absorbed water	13,3	1,526			1,526	
Norstone Årdal 0/8 mm	906,7	104,267	2,2	2,294	106,561	
NorStone Årdal 0/2 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Norstone Årdal 8/16mm	841,1	96,726	0,0	0,000	96,726	
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000	
Flygeaske	0,0	0,000	2,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Mapei Dynamon SX-N	4,5	0,513	84	0,431	0,513	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Resept"

** NB! Våte mengder, også for silikaslurry

Fresh concrete					
Time after water addition					
Slump					
Slump flow					
Air					
Density					

Samples (number)					
Casted time:					
Cubes					
150x300 cylindre					
100x200 cylindre					

Ref.Bet.6SF

Mix proportion **SKANSKA**

Project	Ref.Bet.6SF
Batch no	2
Quality requirements	M40 Matrix 350 liter

Batch volume:	115 liter
Date:	
Time for water addition:	
Responsible:	
Executed by:	

Materials	Mix kg/m ³	Batch kg	Moisture* %	Corr. kg	Weight** kg
Anlegg FA	404,2	46,478			46,478
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	25,8	2,967	0,0	0,000	2,967
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
Slagg	0,0	0,000			0,000
Free water	182,3	20,964		-1,197	19,767
Absorbed water	13,3	1,526			1,526
Norstone Årdal 0/8 mm	906,7	104,267	0,8	0,782	105,049
NorStone Årdal 0/2 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Norstone Årdal 8/16mm	841,1	96,726	0,0	0,000	96,726
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Flyveaske	0,0	0,000	2,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	4,3	0,494	84	0,415	0,494
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

21,293

*Se fotnote på delark "Resept" ** NB! Våte mengder, også for silika-slurry

Fresh concrete					
Time after water addition					
Slump					
Slump flow					
Air					
Density					

Samples (number)					
Casted time:					
Cubes					
150x300 cylindre					
100x200 cylindre					

50FA

Mix proportion	SKANSKA
-----------------------	----------------

Project	50FA
Batch no	3
Quality requirements	M40 Matrix 350 liter

Batch volume:	115 liter
Date:	
Time for water addition:	
Responsible:	
Executed by:	

Materials	Mix kg/m ³	Batch kg	Moisture* %	Corr. kg	Weight** kg
Anlegg	209,8	24,127			24,127
Flygeaske	209,8	24,127			24,127
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
Slagg	0,0	0,000			0,000
Free water	167,8	19,302		-1,187	18,114
Absorbed water	13,3	1,526			1,526
Norstone Årdal 0/8 mm	906,7	104,267	0,8	0,782	105,049
NorStone Årdal 0/2 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Norstone Årdal 8/16mm	841,1	96,726	0,0	0,000	96,726
NorStone Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Flygeaske	0,0	0,000	2,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	4,2	0,483	84	0,405	0,483
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

19,641

*Se fotnote på delark "Resept"

** NB! Våte mengder, også for silikaslurry

Fresh concrete					
Time after water addition					
Slump					
Slump flow					
Air					
Density					

Samples (number)					
Casted time:					
Cubes					
150x300 cylindre					
100x200 cylindre					

70BS

Mix proportion	SKANSKA
-----------------------	----------------

Project	70BS
Batch no	4
Quality requirements	M40 Matrix 350 liter

Batch volume:	115 liter
Date:	
Time for water addition:	
Responsible:	
Executed by:	

Materials	Mix kg/m ³	Batch kg	Moisture* %	Corr. kg	Weight** kg	
Schwenk lawarme	443,0	50,943			50,943	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000	
Slagg	0,0	0,000			0,000	
Free water	177,2	20,377		-0,532	19,845	21,371
Absorbed water	13,3	1,526			1,526	
Norstone Årdal Sand 0/8 mm	906,7	104,267	0,1	0,104	104,372	
NorStone Årdal 0/2 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Norstone Årdal 8/16mm	841,1	96,726	0,0	0,000	96,726	
NorStone Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000	
Flyveaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Mapei Dynamon SX-N	4,4	0,509	84	0,428	0,509	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Resept"

** NB! Våte mengder, også for silikasurry

Fresh concrete					
Time after water addition					
Slump					
Slump flow					
Air					
Density					

Samples (number)					
Casted time:					
Cubes					
150x300 cylindre					
100x200 cylindre					

70BS.5SF

Mix proportion **SKANSKA**

Project	70BS.5SF
Batch no	5
Quality requirements	M40 Matrix 350 liter

Batch volume:	115 liter
Date:	
Time for water addition:	
Responsible:	
Executed by:	

Materials	Mix kg/m ³	Batch kg	Moisture* %	Corr. kg	Weight** kg
Schwenk lawarme	408,6	46,987			46,987
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	21,5	2,473	0,0	0,000	2,473
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
Slagg	0,0	0,000			0,000
Free water	180,6	20,773		-3,126	17,647
Absorbed water	13,3	1,526			1,526
Norstone Årdal Sand 0/8 mm	906,7	104,267	2,6	2,711	106,978
NorStone Årdal 0/2 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Norstone Årdal 8/16mm	841,1	96,726	0,0	0,000	96,726
NorStone Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Flygeaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	4,3	0,495	84	0,415	0,495
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

19,173

*Se fotnote på delark "Resept"

** NB! Våte mengder, også for silikaslurry

Fresh concrete					
Time after water addition					
Slump					
Slump flow					
Air					
Density					

Samples (number)					
Casted time:					
Cubes					
150x300 cylindre					
100x200 cylindre					

35FA

Mix proportion	SKANSKA
-----------------------	----------------

Project	35FA
Batch no	6
Quality requirements	M40 Matrix 350 liter

Batch volume:	115 liter
Date:	
Time for water addition:	
Responsible:	
Executed by:	

Materials	Mix kg/m ³	Batch kg	Moisture* %	Corr. kg	Weight** kg
Anlegg	295,3	33,961			33,961
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	159,0	18,287			18,287
Slagg	0,0	0,000			0,000
Free water	162,6	18,705		-2,941	15,763
Absorbed water	13,3	1,526			1,526
Norstone Årdal 0/8 mm	906,7	104,267	2,4	2,502	106,770
NorStone Årdal 0/2 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Norstone Årdal 8/16mm	841,1	96,726	0,0	0,000	96,726
NorStone Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Flyveaske	0,0	0,000	2,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	4,5	0,522	84	0,439	0,522
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

17,290

*Se fotnote på delark "Resept"

** NB! Våte mengder, også for silikaslurry

Fresh concrete					
Time after water addition					
Slump					
Slump flow					
Air					
Density					

Samples (number)					
Casted time:					
Cubes					
150x300 cylindre					
100x200 cylindre					

Ref.Bet.25°C

Mix proportion	SKANSKA
-----------------------	----------------

Project	Ref.Bet.25C
Batch no	7
Quality requirements	M40 Matrix 350 liter

Batch volume:	115 liter
Date:	
Time for water addition:	
Responsible:	
Executed by:	

Materials	Mix kg/m ³	Batch kg	Moisture* %	Corr. kg	Weight** kg
Anlegg FA	445,7	51,252			51,252
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
Slagg	0,0	0,000			0,000
Free water	178,3	20,501		-3,037	17,464
Absorbed water	13,3	1,526			1,526
Norstone Årdal 0/8 mm	906,7	104,267	2,5	2,607	106,874
NorStone Årdal 0/2 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Norstone Årdal 8/16mm	841,1	96,726	0,0	0,000	96,726
Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Flyveaske	0,0	0,000	2,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	4,5	0,513	84	0,431	0,513
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

18,990

*Se fotnote på delark "Resept"

** NB! Våte mengder, også for silikaslurry

Fresh concrete					
Time after water addition					
Slump					
Slump flow					
Air					
Density					

Samples (number)					
Casted time:					
Cubes					
150x300 cylindre					
100x200 cylindre					

50FA.25°C

Mix proportion	SKANSKA
-----------------------	----------------

Project	50FA.25C
Batch no	8
Quality requirements	M40 Matrix 350 liter

Batch volume:	115 liter
Date:	
Time for water addition:	
Responsible:	
Executed by:	

Materials	Mix kg/m ³	Batch kg	Moisture* %	Corr. kg	Weight** kg	
Anlegg	209,8	24,127			24,127	
Flygeaske	209,8	24,127			24,127	
	0,0	0,000			0,000	
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000	
Slagg	0,0	0,000			0,000	
Free water	167,8	19,302		-2,595	16,707	18,233
Absorbed water	13,3	1,526			1,526	
Norstone Årdal 0/8 mm	906,7	104,267	2,1	2,190	106,457	
NorStone Årdal 0/2 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Norstone Årdal 8/16mm	841,1	96,726	0,0	0,000	96,726	
NorStone Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000	
Flygeaske	0,0	0,000	2,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Mapei Dynamon SX-N	4,2	0,483	84	0,405	0,483	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
	0,0	0,000			0,000	
	0,0	0,000			0,000	

*Se fotnote på delark "Resept"

** NB! Våte mengder, også for silikaslurry

Fresh concrete					
Time after water addition					
Slump					
Slump flow					
Air					
Density					

Samples (number)					
Casted time:					
Cubes					
150x300 cylindre					
100x200 cylindre					

70BS.25°C

Mix proportion	SKANSKA
-----------------------	----------------

Project	70BS.25C
Batch no	9
Quality requirements	M40 Matrix 350 liter

Batch volume:	115 liter
Date:	
Time for water addition:	
Responsible:	
Executed by:	

Materials	Mix kg/m ³	Batch kg	Moisture* %	Corr. kg	Weight** kg
Schwenk lavvarme	443,0	50,943			50,943
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000
Elkem Microsilica	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Normineral flyveaske	0,0	0,000			0,000
Slagg	0,0	0,000			0,000
Free water	177,2	20,377		-2,618	17,760
Absorbed water	13,3	1,526			1,526
Norstone Årdal Sand 0/8 mm	906,7	104,267	2,1	2,190	106,457
NorStone Årdal 0/2 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Norstone Årdal 8/16mm	841,1	96,726	0,0	0,000	96,726
NorStone Årdal 16/22 mm	0,0	0,000	0,5	0,000	0,000
Flygeaske	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Mapei Dynamon SX-N	4,4	0,509	84	0,428	0,509
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
	0,0	0,000			0,000
	0,0	0,000			0,000

19,286

*Se fotnote på delark "Resept"

** NE! Våte mengder, også for silikaslurry

Fresh concrete					
Time after water addition					
Slump					
Slump flow					
Air					
Density					

Samples (number)					
Casted time:					
Cubes					
150x300 cylindre					
100x200 cylindre					

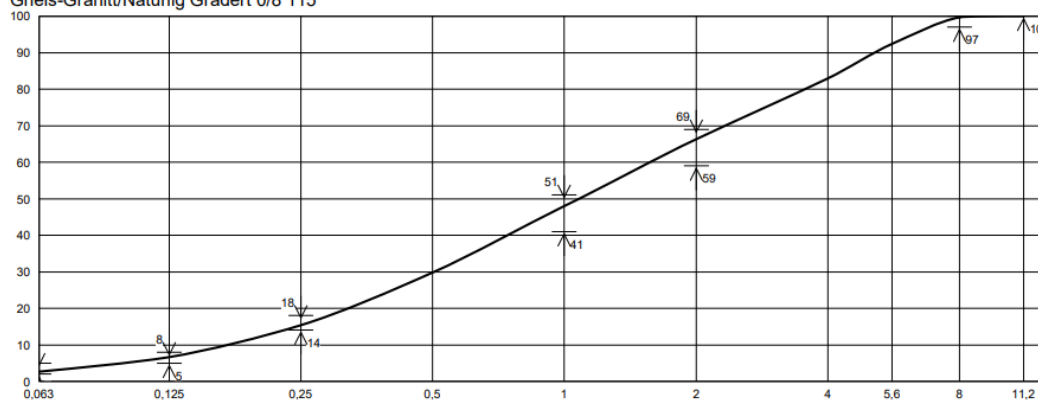
Vedlegg B. Sikteanalyser



Dato:	19.12.2017	Kunde: UIS	
Materiale:	0/8 mm System 2+	Havn:	
Varenr:	101718-115	Båt:	
Følgeseddel nr:			
Test	NS-EN 933-1	Laboratorium	NorStone Årdal
Identifikasjon av prøven	0/8 mm 115	Operatør	Sæbø
Dato mottatt/uttatt	16.10.2017	Dato utført	19.12.2017
Metod (angi)	Vasking og sikting	Standard	NS-EN 12620
	<input checked="" type="checkbox"/> Tørssikting	Sertifikat:	1111-CPD-0007
		Produksjonssted	NorStone Årdal
Total tørr masse M_1 =		892,1 g	
Tørr masse etter vasking M_2 =		g	
Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2$ =		g	
Vanninnhold (%) NS 1097-5 =			

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
11,2			100,0	100,0	100,0	
8	2,6	0,3	99,7	99,0	97,0	100,0
5,6	65,4	7,3	92,4	90,0		
4	84,2	9,5	82,9	80,0		
2	147,9	16,6	66,3	64,0	59,0	69,0
1	164,4	18,4	47,9	46,0	41,0	51,0
0,5	161,1	18,1	29,8	28,0		
0,25	128,5	14,4	15,4	16,0	14,0	18,0
0,125	79,1	8,8	6,6	7,0	5,0	8,0
0,063	35,5	4,0	2,6	3,0	2,0	5,0
< 0,063	23,1	2,6				
Sum	891,8	100,0	0,0	< 1% Prosentats materiale tapt		

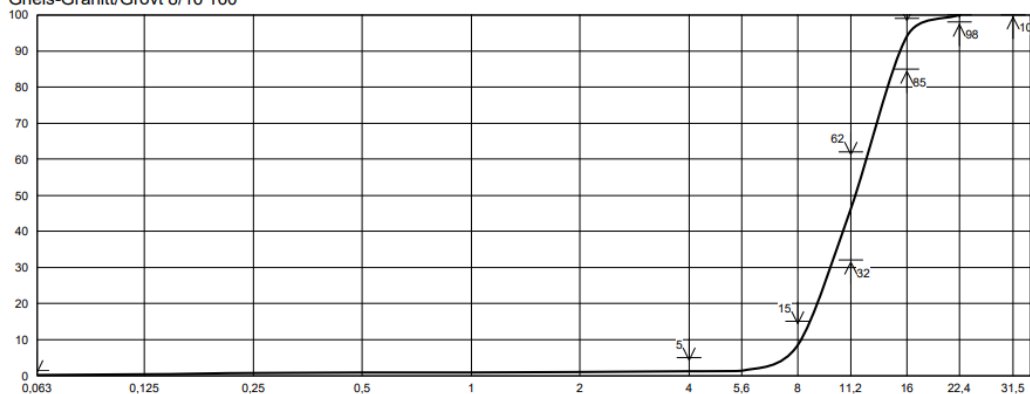
Gneis-Granitt/Naturlig Gradert 0/8 115



Dato:	19.12.2017	Kunde:	UIS
Materiale:	8/16 mm System 2+	Havn:	
Varenr:	101711-160	Båt:	
Følgeseddel nr:			
Test	NS-EN 933-1	Laboratorium	NorStone Årdal
Identifikasjon av prøven	8/16 mm 160	Operatør	Sæbø
Dato mottatt/uttatt	19.12.2017	Dato utført	20.12.2017
Metod (angi)	Vasking og sikting	Standard	NS-EN 12620
	<input checked="" type="checkbox"/> Tørrsikting	Sertifikat:	1111-CPD-0007
		Produksjonssted	NorStone Årdal
Total tørr masse M_1 =			2069,3 g
Tørr masse etter vasking M_2 =			g
Tørr masse av Finstoff fjernet ved vasking $M_1 - M_2$ =			g
Vanninnhold (%) NS 1097-5 =			1,3

Sikteåpning (mm)	Masse tilbakehold (g)	Prosentandel (%)	Gjennomgang			
			Akkumulert Prosentandel (%)	Idealkurve (%)	Min (%)	Max (%)
31,5					100,0	
22,4			100,0	100,0	98,0	100,0
16	124,1	6,0	94,0	90,8	85,0	99,0
11,2	988,0	47,8	46,2	46,9	32,0	62,0
8	781,1	37,7	8,5	8,9		15,0
5,6	146,4	7,1	1,4	2,7		
4	5,5	0,3	1,1	2,3		5,0
2	2,7	0,1	1,0	2,0		
1	2,9	0,1	0,9	1,7		
0,5	2,5	0,1	0,8	1,3		
0,25	4,0	0,2	0,6	0,9		
0,125	3,8	0,2	0,4	0,6		
0,063	3,0	0,2	0,2	0,4		1,5
< 0,063	4,8	0,2				
Sum	2068,8	100,0	0,0	< 1% Prosentats materiale tapt		

Gneis-Granitt/Grovt 8/16 160



Vedlegg C. Trykkfasthet

Data er markert med dato (ÅÅÅÅ.MM.DD), antall dager herding, nummer på prøve, vekt på prøve.



Parameter table:

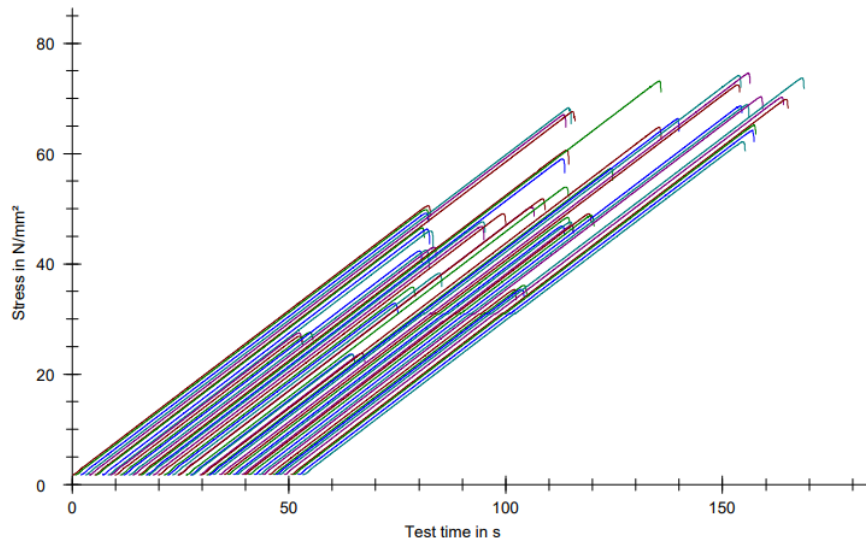
Test protocol :	Type strain extensometer:
Tester :	Machine data : Controller TT0322
Customer :	PistonStroke
Test standard :	LoadCell 3 MN
Strength grade: V/C 0,55	Extensometer
Creation date : 06.02.2020	Extensometer2
Other :	



Results:

Nr	Date	ID	a mm	b mm	F _m kN	σ _m N/mm ²
1	22.02.2022	2022042628dA2448	100,0	100,0	505,10	50,51
2	22.02.2022	202202157dB	100,0	100,0	498,41	49,84
3	22.02.2022	202202157dC	100,0	100,0	491,74	49,17
4	15.03.2022	2022021528dA2429	100,0	100,0	683,17	68,32
5	15.03.2022	2022021528dB2392	100,0	100,0	670,35	67,04
6	15.03.2022	2022021528dC2377	100,0	100,0	676,28	67,63
7	16.03.2022	202203097dA2424	100,0	100,0	465,36	46,54
8	16.03.2022	202203097dB2413	100,0	100,0	463,10	46,31
9	16.03.2022	202203097dC2418	100,0	100,0	459,69	45,97
10	17.03.2022	202203107dA2390	100,0	100,0	274,40	27,44
11	17.03.2022	202203107dB2392	100,0	100,0	269,13	26,91
12	17.03.2022	202203107dC2408	100,0	100,0	275,67	27,57
13	31.03.2022	202203247dA2341	100,0	100,0	423,20	42,32
14	31.03.2022	202203247dB2427	100,0	100,0	424,80	42,48
15	31.03.2022	202203247dC2360	100,0	100,0	430,13	43,01
16	06.04.2022	2022030928dA2419	100,0	100,0	606,08	60,61
17	06.04.2022	2022030928dB2402	100,0	100,0	731,70	73,17
18	06.04.2022	2022030928dC2420	100,0	100,0	590,26	59,03
19	06.04.2022	202203307dA2358	100,0	100,0	476,18	47,62
20	06.04.2022	202203307dB2408	100,0	100,0	467,88	46,79
21	06.04.2022	202203307dC2389	100,0	100,0	490,73	49,07
22	07.04.2022	2022031028dA2422	100,0	100,0	357,54	35,75
23	07.04.2022	2022031028dB2394	100,0	100,0	328,45	32,85
24	07.04.2022	2022031028dC2397	100,0	100,0	382,91	38,29
25	13.04.2022	202204067dA2417	100,0	100,0	502,77	50,28
26	13.04.2022	202204067dB2409	100,0	100,0	517,98	51,80
27	13.04.2022	202204067dC2453	100,0	100,0	539,15	53,91
28	13.04.2022	202204076dA2325*	100,0	100,0	236,63	23,66
29	13.04.2022	202204076dB2377*	100,0	100,0	235,22	23,52
30	13.04.2022	202204076dC2363*	100,0	100,0	237,91	23,79
31	21.04.2022	2022032428dA2337	100,0	100,0	647,96	64,80
32	21.04.2022	2022032428dB2358	100,0	100,0	573,15	57,32
33	21.04.2022	2022032428dC2372	100,0	100,0	663,72	66,37
34	27.04.2022	2022033028dA2369	100,0	100,0	741,50	74,15
35	27.04.2022	2022033028dB2362	100,0	100,0	745,87	74,59
36	27.04.2022	2022033028dC2408	100,0	100,0	724,28	72,43
37	27.04.2022	202204207dA2379	100,0	100,0	484,05	48,40
38	27.04.2022	202204207dB2398	100,0	100,0	468,83	46,88
39	27.04.2022	202204207dC2449	100,0	100,0	475,84	47,58
40	03.05.2022	202204267dA2411	100,0	100,0	469,96	47,00
41	03.05.2022	202204267dB2451	100,0	100,0	490,90	49,09
42	03.05.2022	202204267dC2410	100,0	100,0	488,31	48,83
43	04.05.2022	2022040628dA2424	100,0	100,0	686,65	68,67
44	04.05.2022	2022040628dB2420	100,0	100,0	688,66	68,87
45	04.05.2022	2022040628dC2439	100,0	100,0	703,15	70,31
46	05.05.2022	2022040728dA2359	100,0	100,0	352,94	35,29
47	05.05.2022	2022040728dB2372	100,0	100,0	361,04	36,10
48	05.05.2022	2022040728dC2375	100,0	100,0	353,60	35,36
49	18.05.2022	2022042028dA2412	100,0	100,0	736,92	73,69
50	18.05.2022	2022042028dB2439	100,0	100,0	702,23	70,22
51	18.05.2022	2022042028dC2408	100,0	100,0	698,44	69,84
52	24.05.2022	2022042628dA2448	100,0	100,0	651,75	65,17
53	24.05.2022	2022042628dB2436	100,0	100,0	642,10	64,21
54	24.05.2022	2022042628dC2443	100,0	100,0	621,41	62,14

Series graphics:



Vedlegg D. E-modul

Data er markert med dato (ÅÅÅÅ.MM.DD), antall dager herding, nummer på prøve.

24.05.2022

Simple standard protocol



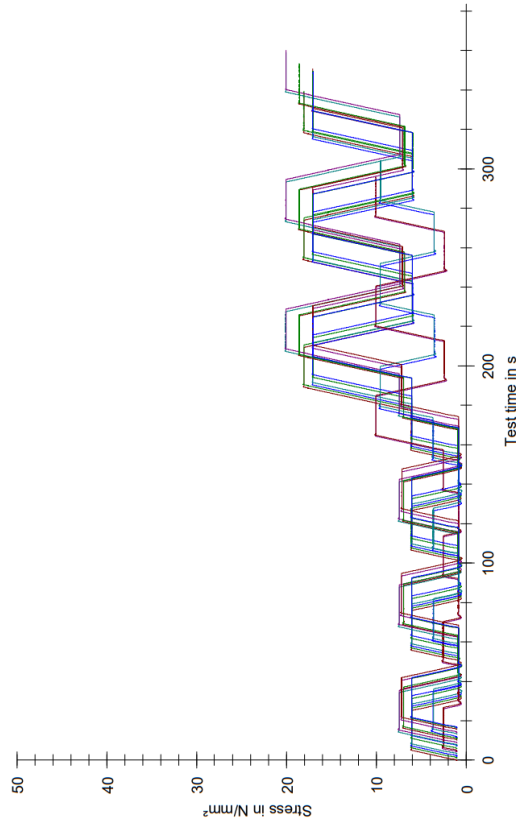
Parameter table:

Test protocol : UJS
 Testør : Sandnes& Jørbetong-Mari
 Customer : Sandnes& Jørbetong-Mari
 Test standard : EN12390-13 method A
 Strength grade :
 Creation date :
 Age : 0 T
 Other :
 Type strain extensometer : Controller TT0322
 Machine data : PistonStroke
 LoadCell 3 MN
 Extensometer
 Extensometer2

Results:

Nr	ID	Date	h	ε _{b2} E1	ε _{b2} E2	ε _{b3} E1	ε _{b3} E2	Δε _{b23} E1	Δε _{b23} E2	Δε _{b3} E12	σ _{m,a1}	σ _{m,b0}	ε _{a,1}	ε _{b,0}	E _{C,0}	σ _{m,a,3}	σ _{m,b,2}	ε _{a,3}	ε _{b,2}	E _{C,S}
max.			mm	mm	mm	mm	mm	%	%	%	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm	N/mm ²
1	2022021529dA	16.03.2022	300,0	0,175	0,096	0,179	0,095	0,52	0,23	15,27	18,02	6,07	0,331	0,095	10124,01	18,01	5,94	0,342	0,139	11884,37
2	2022021529dB	16.03.2022	300,0	0,184	0,081	0,185	0,082	0,16	0,29	19,33	18,03	6,04	0,306	0,082	10701,53	18,05	5,95	0,318	0,125	12550,39
3	2022030928dA	06.04.2022	300,0	0,034	0,044	0,034	0,043	0,60	0,52	5,67	17,04	6,02	0,126	0,042	26328,89	17,04	5,95	0,128	0,055	30615,82
4	2022030928dB	06.04.2022	300,0	0,029	0,042	0,030	0,040	0,95	0,85	7,61	17,04	6,04	0,115	0,039	28891,81	17,05	5,95	0,117	0,049	32825,01
5	2022031028dA	07.04.2022	300,0	0,010	0,009	0,010	0,009	0,19	0,21	2,78	10,01	2,53	0,062	0,009	28111,95	10,02	2,41	0,065	0,015	30546,32
6	2022031028dB	07.04.2022	300,0	0,012	0,016	0,012	0,016	0,61	0,27	7,96	10,04	2,52	0,096	0,016	18941,67	10,06	2,40	0,100	0,033	23017,69
7	2022032428dA	21.04.2022	300,0	0,027	0,040	0,028	0,040	0,52	0,25	9,18	17,02	6,03	0,121	0,039	26769,94	17,03	5,95	0,123	0,055	32394,48
8	2022032428dB	21.04.2022	300,0	0,030	0,037	0,031	0,036	0,57	0,40	3,97	17,05	6,03	0,118	0,035	26519,98	17,04	5,98	0,120	0,052	32306,33
9	2022033028dA	27.04.2022	300,0	0,034	0,041	0,034	0,041	0,01	0,19	4,53	20,06	7,43	0,127	0,042	29591,74	20,03	7,36	0,129	0,054	34085,19
10	2022033028dB	27.04.2022	300,0	0,027	0,053	0,027	0,054	0,05	0,27	16,88	20,04	7,44	0,155	0,054	25100,62	20,02	7,36	0,158	0,079	32435,78
11	2022040628dA	04.05.2022	300,0	0,199	0,092	0,199	0,093	0,04	0,16	18,25	18,55	6,95	0,352	0,093	8957,64	18,53	6,84	0,374	0,180	12070,60
12	2022040628dB	04.05.2022	300,0	0,185	0,103	0,186	0,104	0,15	0,40	14,05	18,54	6,92	0,385	0,105	8300,85	18,54	6,84	0,404	0,213	12296,41
13	2022040728dA	05.05.2022	300,0	0,021	0,023	0,021	0,023	0,68	0,40	2,76	9,53	3,64	0,087	0,024	18590,07	9,54	3,55	0,092	0,041	23641,40
14	2022040728dB	05.05.2022	300,0	0,017	0,030	0,017	0,031	0,57	0,28	14,32	9,56	3,67	0,105	0,031	15872,39	9,52	3,54	0,108	0,056	22779,32
15	2022042028dA	18.05.2022	300,0	0,160	0,079	0,159	0,078	0,04	0,14	17,13	17,05	7,15	0,242	0,078	12037,40	17,08	7,07	0,244	0,109	14764,74
16	2022042028dB	18.05.2022	300,0	0,201	0,100	0,200	0,099	0,12	0,24	16,92	17,03	7,16	0,234	0,098	14519,93	17,05	7,08	0,233	0,094	14358,49
17	2022042628dA	24.05.2022	300,0	0,165	0,103	0,170	0,100	0,74	0,91	12,98	17,00	6,03	0,322	0,096	9730,58	17,03	5,94	0,328	0,156	12940,35
18	2022042628dB	24.05.2022	300,0	0,180	0,097	0,179	0,097	0,08	0,16	14,93	17,03	6,05	0,295	0,097	11068,14	17,02	5,94	0,322	0,133	11747,45

Series graphics:



Statistics:

Series	σ_m N/mm ²	$E_{c,0}$ N/mm ²	$E_{c,s}$ N/mm ²
n = 18			
\bar{x}	16,14	18342,17	22070,01
s	3,56	7983,18	9140,19
v	22,08	43,52	41,41

Vedlegg E. Spaltestrekkfasthet

Data er markert med dato (ÅÅÅÅ.MM.DD), antall dager herding, nummer på prøve.



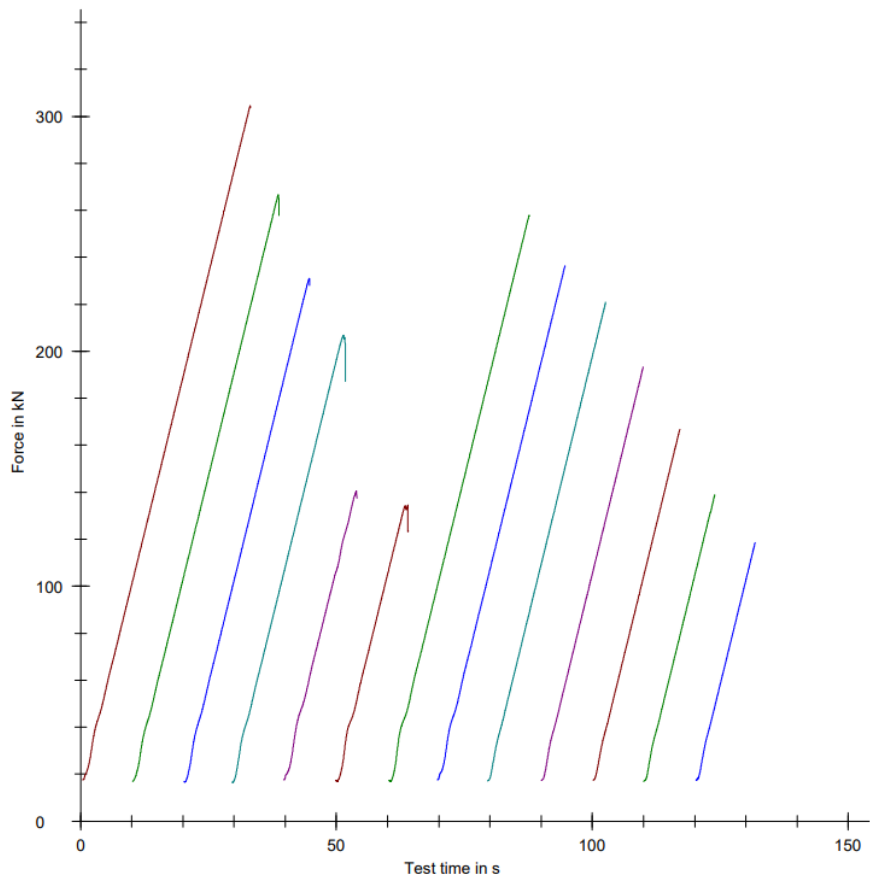
Parameter table:

Test protocol :	Type strain extensometer :
Tester :	Machine data : Controller TT0322
Customer :	PistonStroke
Test standard :	LoadCell 3 MN
Strength grade :	
Creation date :	
Age : 0 T	
Other :	

Results:

Nr	Date	ID	Break	F _m kN	σ _m N/mm ²
1	16.03.2022	2022021529dA	0,00	304,66	17,24
2	16.03.2022	2022021529dB	1,00	266,63	15,09
3	06.04.2022	2022030928dA	0,00	230,98	13,07
4	06.04.2022	2022030928dB	0,00	206,89	11,71
5	07.04.2022	2022031028dA	1,00	140,32	7,94
6	07.04.2022	2022031028dB	1,00	134,44	7,61
7	21.04.2022	2022032428dA	1,00	257,89	14,59
8	21.04.2022	2022032428dB	1,00	236,53	13,38
9	27.04.2022	2022033028dA	3,00	220,84	12,50
10	27.04.2022	2022033028dB	3,00	193,36	10,94
11	04.05.2022	2022040628dA	3,00	166,69	9,43
12	04.05.2022	2022040628dB	3,00	138,93	7,86
13	05.05.2022	2022040728dA	3,00	118,61	6,71
14			-	-	-

Series graphics:



Statistics:

Series n = 13	Break	F _m kN	σ _m N/mm ²
n	13	13	13
\bar{x}	1,54	201,29	11,39
s	1,27	58,36	3,30
max.	3,00	304,66	17,24
min	0,00	118,61	6,71
med	1,00	206,89	11,71
v	-	28,99	28,99

Vedlegg F. Porevanntrykk for hver prøveblanding

